



Coberturas Ajardinadas: Influência dos Substratos na Gestão de Águas Pluviais

Marta Almeida Silva Castelo-Branco

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia de Sistemas Bioenergéticos

Orientador: Doutora Ana Luísa Brito dos Santos Sousa Soares Ló de Almeida

Co-orientador: Doutor Miguel Pedro de Freitas Barbosa Mourato

Júri:

Presidente:

Doutora Maria Suzana Leitão Ferreira Dias Vicente, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Vogais:

Doutora Maria Luísa Louro Martins, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Doutor Miguel Pedro Freitas Barbosa Mourato, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Doutora Ana Luísa Brito dos Santos Sousa Soares Ló de Almeida, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Licenciado Nuno Joaquim Costa Cara de Anjo Lecoq, Assistente convidado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, na qualidade de especialista.

Lisboa, 2012

Dedico esta tese aos meus pais e ao António.

“The Chinese expression for ‘crisis’ consists of two characters. The first is a symbol for ‘danger’, the second is a symbol for ‘opportunity’.”¹

¹ Al Gore, *An Inconvenient Truth: The Planetary Emergency of Global Warming and What We Can Do About It*. 2006

Agradecimentos

Aos meus pais, por fazerem tudo o que está ao seu alcance para que eu possa ir em busca da minha realização pessoal e profissional, sem nunca desistirem dos meus sonhos e do que sou capaz de fazer.

Ao António, por apoiar e partilhar a minha ambição, orientando-me numa versão mais optimista. Sem o seu constante apoio não seria capaz de arriscar e de deixar o que é seguro para trás.

Ao Cory, por me ter ensinado tudo o que sabe sobre coberturas ajardinadas, por compreender o que é viver num outro país onde tudo é diferente, por me ter ajudado a ultrapassar a barreira linguística, mas sobretudo por ser um amigo com o qual pude contar durante a minha passagem pelos EUA e com o qual ainda posso contar.

À Professora Doutora Ana Luísa Soares por me ter concedido a oportunidade de realizar este trabalho de coberturas ajardinadas, tema pelo qual sou apaixonada e pela cordialidade e simpatia demonstrada.

Ao Professor Doutor Miguel Mourato por ter continuado a meu lado, mantendo-se como meu co-orientador apesar de todas as alterações logísticas que a minha dissertação sofreu, pela partilha do saber e acompanhamento ao longo do meu percurso académico.

À Engenheira Rafaela Reis por toda a atenção, paciência e apoio prestado no laboratório durante a fase experimental.

Ao Engenheiro Miguel, pela ajuda na determinação do azoto e na clarificação de alguns dos procedimentos experimentais.

À Fundação Calouste Gulbenkian por prontamente disponibilizarem as amostras dos seus substratos.

E por último, mas não menos importante, aos meus amigos e colegas de Filadélfia, pela simpatia demonstrada e pela ajuda na adaptação a uma nova cidade.

A todos, Bem Haja

Resumo

Neste trabalho foi avaliada a influência do substrato das coberturas ajardinadas na manutenção de águas pluviais, relativamente à quantidade de água que pode ser retida e à qualidade da água escoada por estes. Para esse efeito foram analisados três substratos, dos quais um provém de uma cobertura intensiva moderna sediada em Filadelfia, e os outros dois da cobertura intensiva clássica da Fundação Calouste Gulbenkian, sendo que um deles é o substrato original do projecto e o outro foi renovado há cerca de um ano. Embora existissem diferenças entre as propriedades físicas dos substratos, qualquer um deles apresentou uma boa capacidade de retenção de água. Para a análise da qualidade da água escoada, identificaram-se as concentrações de nutrientes (N, P e K) e de metais pesados (Cd, Pb, Cu, Cr, Ni e Zn) presentes na água da chuva e na água drenada, averiguando se estes eram retidos ou lixiviados pelos substratos. Dada a discrepância de resultados obtidos entre os diferentes substratos e entre os elementos lixiviados ou retidos em cada substrato, este estudo indica claramente que é necessário mais investigação em torno da qualidade da água escoada a partir das coberturas ajardinadas.

Palavras-chave: Coberturas ajardinadas, substratos, capacidade de retenção de água pluvial, qualidade da água escoada.

Abstract

In this study the influence of green roofs' growing medium on stormwater management was evaluated, relatively to the amount of water that can be retained by them, and the quality of stormwater runoff. For this purpose, three growing mediums were analyzed, one of which was implemented on a modern intensive green roof headquartered in Philadelphia, and the other two implemented in Calouste Gulbenkian Foundation classic intensive green roof, whereas one of them is the original growing medium of the project and the other was renovated for about one year. Although there were differences between the physical properties of the growing mediums, any of them exhibited a good water holding capacity. To analyze the stormwater runoff quality, were identified the concentrations of nutrients (N, P and K) and heavy metals (Cd, Pb, Cu, Cr, Ni and Zn) present in the rainwater and the water runoff, ascertaining if these were retained or leached by the growing mediums. Given the discrepancy in results between the growing media and between the elements leached or retained on each growing media, this study clearly indicates that further research is needed to determine the influence of green roofs in the quality of stormwater runoff.

Keywords: green roofs, growing medium, ability to retain stormwater, quality of stormwater runoff.

Extended Abstract

Currently, there is a parallel between the increase of impervious areas and the expansion of cities. Upon precipitation events, the domain of impervious areas over the permeable areas, causes the stormwater to runoff through the streets and buildings to the sewers, instead of being filtered in the soil. With the high costs associated to the construction and maintenance of drainage systems, their dimension is usually unsuitable for current needs. Thus, after an intense rainstorm, it's easily observed the sewage overflow, leading to the flood of cities, causing public and private heavy losses.

Green roofs, being permeable and occupying an area that is rarely used, the roof, can be considered as one of the stormwater best management practices. These cannot only retain part of rainwater, as they can also detain part of the first flush, delaying the stormwater runoff. On the other hand, by attenuating the occurrence of flood, reducing in its turn the amount of untreated water that reaches the rivers resulting from the sewage overflow, and retaining stormwater pollutants, green roofs can also influence the stormwater runoff quality.

In this study the influence of green roofs' growing medium on stormwater management was evaluated, relatively to the amount of rainwater that can be retained by them and the quality of the water discharged. Three growing mediums of two intensive green roofs were analyzed, one from a modern intensive green roof in Philadelphia and the other two from the Calouste Gulbenkian Foundation classic green roof, headquartered in Lisbon. The differences between the last two growing mediums, is that one was placed 43 years ago and the other was renovated about a year ago.

All growing mediums had a good water holding capacity, indicating that any of them has a good performance in reducing the amount of stormwater that runs off to the drainage systems, of which the growing medium used in Philadelphia's green roof achieved better results. The latter can hold an average of 1.019 L/m^3 of water, enabling the irrigation reduction during the driest periods and obtaining better performance in stormwater management, retaining approximately 18% and 27% more than the oldest and the newest Calouste Gulbenkian Foundation growing mediums, respectively. The physical properties of the growing mediums were also assessed, by determining the content of organic and inorganic matter, the water content and their dried and saturated density, so as to identify major differences between the classical and modern growing mediums.

To evaluate the growing mediums' influence on the stormwater runoff quality, 100 mL of rainwater was passed through each sample, to identify the concentrations of nutrients (N, P and K) and heavy metals (Cd, Pb, Cu, Cr, Ni and Zn) present in the rainwater and the water

drained. In general, most nutrients and heavy metals were leached from all growing mediums, however, there was no consensuality between what was drained and dissipated by them. Given the discrepancy of results, this study clearly indicates that further research is needed to determine the influence of green roofs in the quality of stormwater runoff.

Índice

AGRADECIMENTOS	II
RESUMO.....	III
ABSTRACT	IV
EXTENDED ABSTRACT.....	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE QUADROS.....	X
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XI
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO I - TIPOS DE COBERTURAS AJARDINADAS	4
1. COBERTURAS AJARDINADAS: DIFERENÇAS	5
1.1. Coberturas Extensivas	7
1.2. Coberturas Intensivas	8
1.3. Coberturas Semi-intensivas	9
2. VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS COBERTURAS AJARDINADAS	10
3. ESTRUTURA DAS COBERTURAS AJARDINADAS	11
3.1. Membrana Impermeável.....	12
3.1. Camada de Protecção de Raízes.....	13
3.2. Isolamento Térmico.....	14
3.3. Sistema de Drenagem e de Retenção de Água.....	15
3.4. Camada Filtrante.....	15
3.5. Substrato	16
3.6. Vegetação	17
CAPÍTULO II - FUNÇÕES DAS COBERTURAS AJARDINADAS	19
4. BENEFÍCIOS DAS COBERTURAS AJARDINADAS	20
4.1. Benefícios Públicos	21
4.1.1. Aperfeiçoamento Estético	22
4.1.2. Redução dos Resíduos.....	23
4.1.3. Manutenção das Águas Pluviais	24
4.1.4. Mitigação do Efeito de Ilha de Calor Urbana.....	27
4.1.5. Melhoria da Qualidade do Ar	28
4.1.6. Melhoria do Bem-estar e Qualidade de Vida	30
4.1.7. Aumento da Biodiversidade	31

4.1.8.	Desenvolvimento da Agricultura em Zonas Urbanas	32
4.2.	<i>Benefícios Privados</i>	34
4.2.1.	Eficiência energética	34
4.2.2.	Aumento da Durabilidade da Membrana Impermeável.....	35
4.2.3.	Diminuição do Risco de Incêndio	36
4.2.4.	Redução da Poluição Sonora	37
4.2.5.	Bloqueio da Radiação Electromagnética	38
CAPÍTULO III - AS ÁGUAS PLUVIAIS E A ESCASSEZ DE ÁGUA		39
5.	ENQUADRAMENTO	40
6.	ESCASSEZ DE ÁGUA	42
6.1.	<i>Reaproveitamento de Águas Pluviais</i>	43
6.2.	<i>Integração das Coberturas Ajardinadas com os SAAP</i>	45
CAPÍTULO IV - ANÁLISE DE DOIS CASOS DE ESTUDO.....		48
7.	MATERIAIS E MÉTODOS	49
7.1.	<i>Caracterização das Coberturas Ajardinadas</i>	49
7.1.1.	Cobertura Ajardinada Habitacional	49
7.1.2.	Cobertura Ajardinada da Fundação Calouste Gulbenkian.....	50
7.2.	<i>Análise das Amostras</i>	51
7.3.	<i>Análise Estatística</i>	53
8.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
8.1.	<i>Propriedades Físicas dos Substratos</i>	53
8.1.1.	Teor de Matéria Orgânica e Inorgânica.....	53
8.1.2.	Teor de Humidade.....	55
8.1.3.	Densidade Aparente e na Saturação	56
8.1.4.	Capacidade de Retenção de Água	57
8.2.	<i>Influência dos Substratos na Qualidade da Água Escoada</i>	59
8.2.1.	Azoto	60
8.2.2.	Fósforo	61
8.2.3.	Potássio	61
8.2.4.	Metais Pesados	62
9.	CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		67
ANEXO		77

Índice de Figuras

FIGURA 1 - RETRATO DA SECÇÃO TRANSVERSAL DAQUILO QUE OS ESTUDIOSOS JULGAM TER SIDO OS ANTIGOS JARDINS SUSPENSOS DA BABILÓNIA. FONTE: (WOODS, <i>ET AL.</i> , 2009).	5
FIGURA 2 - COBERTURA AJARDINADA DA ETAR DE ALCÂNTARA. FONTE: (ADP).....	ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.
FIGURA 3 - COBERTURA EXTENSIVA COMPOSTA POR DIFERENTES ESPÉCIES DE <i>SEDUM</i> , FILADÉLFIA, MARÇO DE 2011.....	7
FIGURA 4 - COBERTURA INTENSIVA LOCALIZADA EM VANCOUVER, COMPOSTA POR DIVERSAS ESPÉCIES DE PLANTAS, UM LAGO E OUTROS ADORNOS. A PROFUNDIDADE DO SUBSTRATO VARIA ENTRE 30,5 – 61 CM AO LONGO DA SUA EXTENSÃO. FONTE: (EARTH PLEDGE, 2005).	8
FIGURA 5 - COBERTURA SEMI-INTENSIVA INSTALADA NUMA ESCOLA EM MANHATTAN, ONDE HÁ UMA SEPARAÇÃO NÍTIDA ENTRE AS ZONAS EXTENSIVA E INTENSIVA. FONTE: (GREENROOFS.COM, A).....	9
FIGURA 6 - PERFIL DE UMA COBERTURA AJARDINADA. ADAPTADO DE (LUCKETT, 2009).	12
FIGURA 7 - MEMBRANA IMPERMEÁVEL DE TPO. FONTE: (FIRESTONE).....	13
FIGURA 8 – ESPUMA RÍGIDA DE POLIESTIRENO ESTRUDIDO. FONTE: (HCI).	14
FIGURA 9 - CAMADA DE DRENAGEM SINTÉTICA ACOPLADA COM TECIDO FILTRANTE, FILADÉLFIA, MARÇO DE 2011.	15
FIGURA 10 - ALGUMAS VANTAGENS DAS COBERTURAS AJARDINADAS EM COMPARAÇÃO COM AS COBERTURAS CONVENCIONAIS.	20
FIGURA 11 - COBERTURA INTENSIVA ACESSÍVEL E VISÍVEL DA KPMG, ALEMANHA. FONTE: (EARTH PLEDGE, 2005).	22
FIGURA 12 - COBERTURA EXTENSIVA ACESSÍVEL SOMENTE PARA MANUTENÇÃO E VISÍVEL APENAS A PARTIR DE LOCAIS QUE ESTEJAM A UMA COTA SUPERIOR À DO AEROPORTO DE SCHIPHOL, HOLANDA. FONTE: (EARTH PLEDGE, 2005).....	22
FIGURA 13 - TAXA DE RETENÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL, REGISTADA NUMA COBERTURA EXTENSIVA LOCALIZADA NA CAROLINA DO NORTE, DURANTE O PERÍODO DE ABRIL DE 2003 E SETEMBRO DE 2004. FONTE: (MORAN, <i>ET AL.</i> , 2005).....	25
FIGURA 14 - PERFIL TÍPICO DE UMA ILHA DE CALOR URBANA, CUJAS TEMPERATURAS NAS ZONAS RURAIS SÃO INFERIORES ÀS DOS CENTROS URBANOS. FONTE: (USEPA, 2003).....	27
FIGURA 15 - COBERTURA INTENSIVA, DO HOSPITAL INTERNACIONAL DE ST. LUKE, EM TÓQUIO, JAPÃO. FONTE: (EARTH PLEDGE, 2005).	31
FIGURA 16 – BORRELHO-DE-DUPLA-COLEIRA NUMA COBERTURA AJARDINADA, WASHINGTON, D.C., USA FONTE: (SNODGRASS, <i>ET AL.</i> , 2006).....	32
FIGURA 17 – TOMATES E PIMENTOS (À ESQUERDA) E BERINGELA (À DIREITA), PRODUZIDOS NA COBERTURA AJARDINADA DA FUNDAÇÃO <i>EARTH PLEDGE</i> . FONTE: (EARTH PLEDGE, 2005).....	33
FIGURA 18 - FLUXOS TÉRMICOS DE UMA COBERTURA CONVENCIONAL (À ESQUERDA) E DE UMA COBERTURA AJARDINADA (À DIREITA) NUM DIA DE VERÃO (16 DE JULHO DE 2001), INDICANDO QUE ESTA ÚLTIMA REDUZ DE FORMA SIGNIFICATIVA AS AMPLITUDES TÉRMICAS. FONTE: (LIU, <i>ET AL.</i> , 2003).	34
FIGURA 19 - COMPARAÇÃO ENTRE AS FLUTUAÇÕES DE TEMPERATURA REGISTADAS NUMA COBERTURA CONVENCIONAL (REFERENCE) E NUMA COBERTURA AJARDINADA (GREEN) COM A TEMPERATURA AMBIENTE (AMBIENT). FONTE: (LIU, <i>ET AL.</i> , 2003).....	36
FIGURA 20 - COBERTURA AJARDINADA SEMI-INTENSIVA DOS ESCRITÓRIOS DA GAP. FONTE: (GREENROOFS.COM, B).	37
FIGURA 21 - INUNDAÇÕES EM LISBOA, APÓS UMA FORTE E REPENTINA CHUVADA EM OUTUBRO DE 2010. FONTE: (MONTEIRO, 2010).	40
FIGURA 22 - EVOLUÇÃO DO USO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DE ODIVELAS EM 1969 E 2000. FONTE: (DUARTE, <i>ET AL.</i> , 2006).....	41

FIGURA 23 - EXEMPLO SIMPLIFICADO DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SAAP. ADAPTADO DE: (RAMOS).....	45
FIGURA 25 - DIAGRAMA DO SISTEMA DE RECICLAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS E DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS GROW DA WATER WORKS. ADAPTADO DE: (SHIRLEY-SMITH, 2005).	46
FIGURA 24 - SISTEMA GROW. FONTE: (ETAP, 2006).	46
FIGURA 26 - COBERTURA AJARDINADA DA MOUNTAIN EQUIPMENT CO-OP. FONTE: (GREENROOFS.COM, C).	47
FIGURA 27 – VISTA PANORÂMICA DA BAIXA DA CIDADE DE FILADÉLFIA DA COBERTURA INTENSIVA AINDA NA FASE DE CONSTRUÇÃO.	49
FIGURA 28 – COBERTURA AJARDINADA DA FUNDAÇÃO CALOUSTE GULBENKIAN. FONTE: (FCG).	50
FIGURA 29 - RELAÇÃO ENTRE O TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA E INORGÂNICA DE CADA SUBSTRATO. AS BARRAS DE ERRO REPRESENTAM O DESVIO PADRÃO E AS DIFERENTES LETRAS ENTRE CADA PARÂMETRO AVALIADO INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS SUBSTRATOS ($P \leq 0,05$).	54
FIGURA 30 - TEOR DE ÁGUA PRESENTE EM CADA SUBSTRATO. AS BARRAS DE ERRO REPRESENTAM O DESVIO PADRÃO E AS DIFERENTES LETRAS INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS SUBSTRATOS ($P \leq 0,05$).	55
FIGURA 31 - RELAÇÃO ENTRE A DENSIDADE APARENTE DE CADA SUBSTRATO E RESPECTIVA DENSIDADE QUANDO SATURADOS. AS BARRAS DE ERRO REPRESENTAM O DESVIO PADRÃO E AS DIFERENTES LETRAS ENTRE CADA PARÂMETRO AVALIADO INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS SUBSTRATOS ($P \leq 0,05$).	56
FIGURA 32 - CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA DE CADA SUBSTRATO. AS BARRAS DE ERRO REPRESENTAM O DESVIO PADRÃO E AS DIFERENTES LETRAS INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ENTRE OS SUBSTRATOS ($P \leq 0,05$).	58
FIGURA 33 - LOCAL ONDE FOI RECOLHIDA A ÁGUA PLUVIAL UTILIZADA NO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.	77

Índice de Quadros

QUADRO 1 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS DIFERENTES COBERTURAS AJARDINADAS. ADAPTADO DE (GRHC, 2006A).	7
QUADRO 2 - VANTAGENS E DESVANTAGENS ADJACENTES ÀS COBERTURAS EXTENSIVAS E INTENSIVAS. ADAPTADO DE (GRHC, 2006B) & (PECK, ET AL., 2003).	11
QUADRO 3 - PROPORÇÃO RECOMENDADA, EM VOLUME INSTALADO, DOS COMPONENTES DE UM SUBSTRATO DE ACORDO COM O TIPO DE COBERTURA. FONTE: (GRHC, 2008).	17
QUADRO 4 - CARACTERÍSTICAS DAS PLANTAS C3, C4 E CAM. ADAPTADO DE: (MARTINS, ET AL., 2009), (WHITFORD, 2002), (HODSON, ET AL., 2012).	18
QUADRO 5 - NÍVEL DE IMPACTE DE ACORDO COM O TIPO DE COBERTURA E BENEFÍCIO. LEGENDA: (+++) EXCELENTE; (++) MUITO BOM; (+) BOM E (-) NÃO AFECTA.	38
QUADRO 6 - MÉTODOS LABORATORIAIS UTILIZADOS PARA A ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATOS E DE ÁGUA PLUVIAL ANTES E DEPOIS DE PASSAR PELOS SUBSTRATOS.	52
QUADRO 7 - CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES E DE METAIS PESADOS PRESENTES NA ÁGUA PLUVIAL ANTES E APÓS A SUA PASSAGEM PELAS DIFERENTES AMOSTRAS DE SUBSTRATO, BEM COMO A CONCENTRAÇÃO PRESENTE NOS RESPECTIVOS SUBSTRATOS. EM CADA COLUNA, OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS SEGUIDOS PELA MESMA LETRA NÃO APRESENTAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS ENTRE SI ($P \leq 0,05$).	59

Lista de Abreviaturas

a.C. – Antes de Cristo

APP – *Atactic Polypropylene* (Polipropileno Atático)

ATP – Adenosina Trifosfato

AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CAM - *Crassulacean Acid Metabolism* (Metabolismo Ácido das Crassuláceas)

COVs – Compostos Orgânicos Voláteis

EPDM – *Ethylene Propylene Diene Monomer* (Monômero de Etileno-propileno-dieno)

EPS – *Expanded polystyrene* (Poliestireno Expandido)

ETARs – Estações de Tratamento de Águas Resíduais

EUA – Estados Unidos da América

FCG – Fundação Calouste Gulbenkian

GAP – Marca de Roupas Americana

GEE – Gases de Efeito de Estufa

GROW - *Green roof water recycling system* (sistema de reciclagem da água de coberturas ajardinadas)

HDPE – *High-density Polyethylene* (Polietileno de Alta Densidade)

ISO – *Polyisocyanurat* (Poliisocianurato)

IUPAC – *International Union of Pure and Applied Chemistry* (União Internacional de Química Pura e Aplicada)

LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design* (Liderança em Energia e Projecto Ambiental)

M.I. – Matéria Inorgânica

M.O. – Matéria Orgânica

NADPH – Nicotinamida Adenina Dinucleótido Fosfato

NASA - *National Aeronautics and Space Administration* (Administração Nacional de Aeronáutica e do Espaço)

ONU – Organização das Nações Unidas

OSHA – *Occupational Safety and Health Administration* (Administração de Saúde e Segurança no Trabalho)

PM₁₀ – Partículas sólidas com diâmetro inferior a 10 µm

PVC – *Polyvinyl Chloride* (Policloreto de Vinil ou, na nomenclatura IUPAC, Policloroeteno)

SAAP – Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais

SBS – *Styrene Butadiene Styrene* (Estireno-butadieno-estireno)

TPO – *Thermoplastic Polyolefin* (Termoplástico de Poliolefina)

Valor-R – Medida de resistência térmica

Introdução

Com o crescimento da população mundial verifica-se um aumento da área ocupada pelo Homem, sobretudo nas cidades que estão, em muitos casos, sobrelotadas e Portugal não é exceção. Em Lisboa, a taxa de crescimento da população residente na última década foi de 5% (INE, 2011a), não havendo perspectivas de abrandamento uma vez que, a qualidade de vida nas grandes cidades no que respeita a infraestruturas (escolas, hospitais, acessos e empregabilidade) é superior à das zonas rurais. Assim, aliado ao desenvolvimento, existe um aumento do número de construções que levam à expansão das zonas urbanas.

Um dos problemas como consequência do alargamento da área urbana reflete-se no aumento da área impermeável em relação à área permeável, facilitando a ocorrência de cheias. Deste modo, o crescimento urbano provoca grandes pressões nos sistemas de drenagem, dado que há um aumento do volume de água a ser recolhido e tratado (Munby, 2005). Aquando da ocorrência de precipitação, as águas pluviais são arrastadas pelas coberturas dos edifícios, passeios, vias e outros pavimentos betuminosos, levando consigo nutrientes, metais pesados e/ou outros resíduos provenientes da poluição urbana até um sistema de drenagem que, posteriormente, irão contaminar os meios recetores. Pelo contrário, se a água da chuva atingir uma superfície permeável, como o de uma cobertura ajardinada, ficará total ou parcialmente contida nesta e funcionará como um filtro onde ficam retidos os poluentes (Field, *et al.*, 2005). As coberturas ajardinadas podem ocupar cerca de 40-50% das áreas impermeáveis em zonas urbanas (Mentens, *et al.*, 2006) e, mediante o tipo de vegetação utilizada, a área coberta e as características do substrato, ajudam não só a reduzir a quantidade de águas pluviais que é escoada até aos sistemas de drenagem como também afetam a qualidade das mesmas de três formas:

- ✚ Ao atenuar a ocorrência de cheias reduzem a carga nos sistemas de drenagem, diminuindo o volume de água a tratar, assim como a quantidade de água residual não tratada que chega até aos meios recetores resultantes do extravasamento das sarjetas;
- ✚ Retêm os poluentes das águas pluviais no substrato, evitam o arraste dos materiais constituintes das coberturas betuminosas que sofreram erosão e facultam a deposição atmosférica nas plantas e no substrato (GRHC, 2006a);
- ✚ Quando excessivamente fertilizadas, podem ser uma fonte de lixiviação de nutrientes.

A aplicação deste tipo de coberturas procura dar resposta a fatores ambientais, sociais, económicos, funcionais e estéticos, no sentido de tornar os edifícios sustentáveis e, por sua vez, contribuir para o conceito de “cidades limpas”. De uma forma simplista, consistem na

colocação de uma camada viva constituída por plantas, flores, arbustos e/ou árvores, por cima da cobertura de um edifício. As coberturas ajardinadas podem ser instaladas em grande parte dos edifícios já existentes, embora alguns sejam obrigados a sofrer determinados ajustes para reforço da estrutura. Há quem os considere uma mera extravagância mas, para olhares mais atentos, as vantagens associadas são múltiplas. Reduzem drasticamente o escoamento superficial de águas pluviais, diminuem a produção de resíduos, melhoram a qualidade do ar, mitigando o efeito de ilha de calor urbana, proporcionam o aumento da biodiversidade (quer na fauna, quer na flora) e melhoram a qualidade de vida e bem-estar da população local, transformando áreas cinzentas em espaços verdes. Todavia, a nível privado, as principais vantagens incidem no aumento da durabilidade da membrana impermeável da cobertura e na redução dos consumos energéticos que, através da diminuição das amplitudes térmicas entre o interior e o exterior, permitem reduzir a utilização de aparelhos que controlam a temperatura do ar interior, induzindo uma poupança financeira e atenuando as emissões de dióxido de carbono.

A implementação de coberturas ajardinadas pode ser incentivada através de subsídios e de reduções nos impostos municipais. Por exemplo, na Alemanha estes instrumentos já são aplicados há mais de 30 anos (IGRA, 2011). Em algumas cidades dos Estados Unidos da América e do Canadá são aplicados incentivos económicos através da redução nas taxas de gestão de águas pluviais, embora os pré-requisitos necessários para a atribuição destes variem de cidade para cidade. Por exemplo, em Filadélfia os privilégios nas taxas municipais só são aplicados em coberturas que tenham pelo menos 7,6 cm de substrato (Suter, 2011d). Por outro lado, a alteração da legislação é outra ferramenta extremamente importante para a instalação deste tipo de coberturas. Em Munique todas as coberturas planas têm de ser ajardinadas e em Copenhaga esta obrigatoriedade abrange todas as coberturas com declives inferiores a 30° (Palha, 2012). Em Portugal, nomeadamente em Lisboa, existem algumas coberturas de referência, como o jardim de cobertura do Hotel Ritz, o jardim sobre o parque subterrâneo da Fundação Calouste Gulbenkian e, mais recentemente, a cobertura da ETAR de Alcântara, no entanto carecem de qualquer tipo de incentivos e regalias, essenciais à expansão deste tipo de mercados.

Com a pressão exercida pelo aumento da população e com o custo do metro quadrado de terreno cada vez mais elevado nas áreas urbanas e suburbanas, a instalação e manutenção de infraestruturas de controlo do escoamento, tornam-se extremamente dispendiosas, sendo crucial encontrar soluções alternativas que aliviem a tensão económica. Atualmente, verifica-se um aumento desproporcional entre a população e o dimensionamento adequado dos sistemas de drenagem de águas pluviais, incapazes de dar resposta à crescente impermeabilização dos solos.

Neste trabalho irão ser abordados os diferentes benefícios afetos às coberturas ajardinadas, dando ênfase à mitigação dos impactes ambientais associados ao escoamento de águas pluviais, tendo como propósito demonstrar que estas coberturas são uma das melhores práticas de gestão, facilitando posteriormente a sua integração futura no planeamento urbano. Serão também analisadas as diferentes coberturas ajardinadas atuais e os seus elementos estruturais. E irão ser igualmente considerados os impactes resultantes das alterações climáticas no que se refere à escassez de água, frequência e intensidade de precipitação, bem como a integração das coberturas ajardinadas com os sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

Por último, será estudada a influência dos substratos de duas coberturas ajardinadas intensivas implementadas em diferentes zonas espaciais e temporais, uma habitação em Filadélfia e o jardim da Fundação Calouste Gulbenkian no centro de Lisboa, a fim de avaliar as diferenças entre os respetivos substratos. No final deste estudo, pretende-se estimar a quantidade de água pluvial que pode ser retida por uma cobertura composta por cada um dos dois substratos, bem como a qualidade da água que é posteriormente escoada até aos sistemas de drenagem, fazendo uma comparação entre um sistema de cobertura ajardinada moderno (Filadélfia) e um clássico (FCG).

Capítulo I

Tipos de Coberturas Ajardinadas

“To be whole. To be complete. Wildness reminds us what means to be human, what we are connected to rather than what we are separate from.”²

² Terry Tempest Williams, testimony before the Senate Subcommittee on Forest & Public Lands Management Act of 1995. *Testimony: Writers Speak On Behalf of Utha Wilderness*. Washington, D.C., July 13, 1995.

1. Coberturas Ajardinadas: Diferenças

A cobertura de um edifício constitui a zona superior do mesmo e delimita o espaço interior do exterior. Esta tem como propósito impedir a entrada dos elementos naturais indesejáveis (Weiler, *et al.*, 2009), aumentando o conforto no seu interior. Podem ser construídas a partir de diversos materiais como madeira, adobe, tijolo, betão, cimento e aço, ganhando vida quando lhes são implementados sistemas vivos como o substrato e a vegetação. As coberturas que suportam estes dois últimos elementos podem ser denominadas de coberturas ajardinadas, jardins de cobertura, coberturas vivas ou de *green roofs*, *eco-roofs*, *living roofs*, *planted roofs* ou *vegetated roofs* quando na literatura inglesa.

As coberturas ajardinadas estão em rápido desenvolvimento e expansão, sobretudo na Europa (em países como Alemanha, Áustria, Reino Unido e Suíça), Estados Unidos da América, Canadá e Austrália. Este tipo de coberturas não são conceitos recentes e consistem na implementação de uma camada vegetativa por cima de uma laje, independentemente de esta se encontrar à cota de soleira (p.e. sobre parques de estacionamento subterrâneos). As antigas civilizações tinham o conhecimento tecnológico necessário para construir jardins ornamentais sobre as coberturas, sendo as primeiras referências históricas datadas do século VII e VIII a.C. (Dunnett, *et al.*, 2008), onde nos templos de pedra construídos na antiga Mesopotâmia era plantada vegetação. Os Jardins Suspensos da Babilónia são um dos mais famosos exemplos (Figura 1).

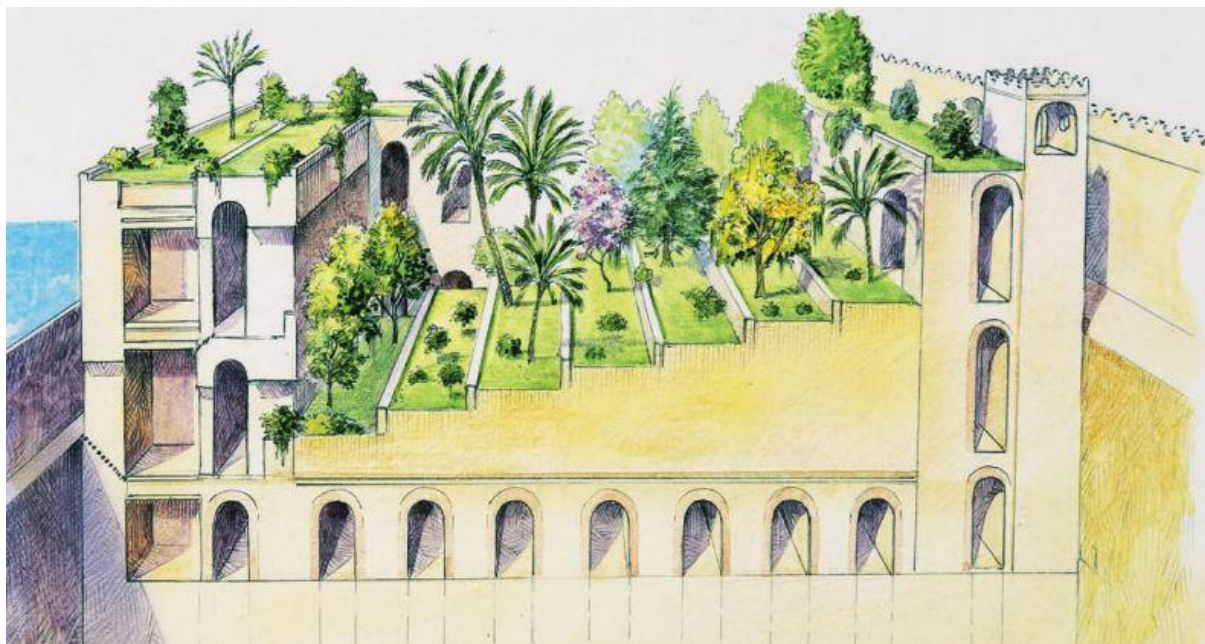


Figura 1 - Retrato da secção transversal daquilo que os estudiosos julgam ter sido os antigos Jardins Suspensos da Babilónia. Fonte: (Woods, *et al.*, 2009).

O conhecimento nesta matéria tem sido aprofundado, de forma a utilizar técnicas e materiais mais resistentes e com melhor performance ambiental. Este tipo de mercados na Alemanha tem um crescimento anual de 15-20% desde a década de 1980 (GRHC, 2006a) e estima-se que 12% das coberturas planas existentes no país sejam coberturas ajardinadas (MSU). Em 2005 a área total deste tipo de coberturas instalada na América do Norte foi 72% superior à do ano anterior, sendo que, 80% destas foram implementadas nos EUA (Voelz, 2006). Filadélfia em 2007 ficou no *ranking* das 10 cidades dos EUA com maior área de coberturas ajardinadas implementada, ficando em oitavo lugar com, aproximadamente, 4.274 m² instalados (Suter, 2011e). Apesar de, em Portugal este tipo de coberturas estar pouco



Figura 2 - Cobertura Ajardinada da ETAR de Alcântara.
Fonte: (ADP).

desenvolvido, devido à falta de incentivos, estas começaram a emergir no final dos anos de 1950, com o jardim de cobertura do Hotel Ritz. Uma década depois, surgiu a cobertura ajardinada sobre o parque subterrâneo da Fundação Calouste Gulbenkian (Costa, 2010) e nos anos de 1980 foi concluída a cobertura do edifício da Portugal Telecom em Picoas (Varela, 2011). No Centro Cultural de Belém foi

implementado o Jardim das Oliveiras sobre o parque de estacionamento no início dos anos de 1990 (Costa, 2010) e, no final desta década, foi instalado um jardim na cobertura da Torre Verde, localizado no Parque das Nações. A cobertura ajardinada da sede do Banco Mais, em Lisboa, inaugurada em 2006 e da ETAR de Alcântara (Figura 2), inaugurada em 2011, são dos mais recentes exemplos deste tipo de construção.

As coberturas ajardinadas podem ser extensivas, semi-intensivas ou intensivas, dependendo da profundidade do substrato (aumentando a sua complexidade à medida que a espessura deste aumenta), assim como das necessidades de rega e de manutenção. Podem ser implementadas em edifícios já existentes, sendo que a sua instalação é sempre mais fácil em edifícios construídos de raiz. Tal deve-se ao facto de, no início do projeto, ter-se em conta todas as condicionantes de uma cobertura ajardinada, enquanto que no primeiro caso, a cobertura será implementada de acordo com as condicionantes já existentes do edifício.

No Quadro 1 estão descritas as principais diferenças entre coberturas extensivas, intensivas e semi-intensivas.

Quadro 1 - Principais características das diferentes coberturas ajardinadas. Adaptado de (GRHC, 2006a).

	Extensivas	Semi-Intensivas	Intensivas
Acessibilidade	Normalmente inacessível	Em geral é parcialmente acessível e o Homem é o sujeito passivo	Normalmente acessível e o Homem é o sujeito ativo
Profundidade do Substrato	2* - 15 cm	15 cm \pm 25%	>15 cm
Capacidade de Carga na Saturação	50 – 170 kg/m ²	170 – 240 kg/m ²	170 – 1465 kg/m ²
Vegetação	Gramíneas, herbáceas, suculentas, aromáticas	Gramíneas, herbáceas, suculentas, aromáticas, pequenos arbustos, plantas perenes	Gramíneas, herbáceas, suculentas, aromáticas, grandes arbustos, plantas perenes, árvores
Manutenção	Baixa	Média	Alta

*Em Portugal, devido à distribuição irregular da precipitação, que origina longos períodos de seca, é arriscada a colocação de uma camada de substrato inferior a 8 cm de profundidade.

1.1. Coberturas Extensivas

As coberturas extensivas têm como principal objetivo a preservação ambiental e tendem a ser inacessíveis ao público. Caso não sejam construídas para uso humano, são consideradas as coberturas mais ecológicas e sustentáveis em termos de recursos utilizados (Dunnett, *et al.*, 2008). Estas podem ser instaladas em edifícios com coberturas planas ou inclinadas, sendo que, não devem ser implementadas em coberturas com declive superior a 45° (FLL, 2008).

A profundidade do substrato é muito reduzida (inferior a 15 cm) e, por isso, o peso exercido sobre a estrutura do edifício é pouca. No entanto, não deixa de ser uma carga extra que é adicionada à edificação. Deste modo, ao instalar uma cobertura ajardinada, é necessário ter em conta a capacidade de carga da infraestrutura do edifício, não a levando ao limite, sobretudo se esta for implementada



Figura 3 - Cobertura extensiva composta por diferentes espécies de *Sedum*, Filadélfia, Março de 2011.

numa estrutura já existente. Muitos dos problemas relacionados com a queda de coberturas ajardinadas estão associados à discriminação da carga exercida pela precipitação, neve e

vento, devendo-se sempre projetá-las de forma a que detenham cargas inferiores àquelas que podem ser suportadas. O peso destas coberturas, quando totalmente saturadas, poderá atingir entre 50 a 170 kg/m² (GRHC, 2006a), dependendo do tipo de materiais utilizados. Por exemplo, o peso de uma camada de gravilha com 1 cm de espessura, utilizada como parte do substrato, varia entre os 16 – 19 kg/m², enquanto que o peso de uma camada de pedra pomes e de vermiculite com a mesma espessura é de 6,5 e 1 kg/m², respetivamente (Dunnett, *et al.*, 2008).

Geralmente, as plantas utilizadas nestas coberturas são da espécie *Sedum*, pelo facto de serem resistentes à seca, por apresentarem raízes pouco penetrantes e que se expandem horizontalmente, por se desenvolverem em substratos pouco profundos e por terem uma necessidade de manutenção mais baixa (Figura 3). Para além das espécies suculentas, poderão ser utilizadas gramíneas (ex. *Festuca*), herbáceas (ex. *Campanula*) e plantas aromáticas (ex. *Allium*) (Snodgrass, *et al.*, 2006). Normalmente, as coberturas extensivas requerem uma menor manutenção e menores custos de implementação.

1.2. Coberturas Intensivas

As coberturas intensivas podem ser construídas para fins ambientais sendo que, na sua grande maioria, são principalmente projetadas para usufruto humano, conferindo mais um espaço ao edifício. Não obstante serem planeadas para o conforto e bem-estar dos seus ocupantes, permitem ao mesmo tempo aumentar a qualidade do ambiente. Estes sistemas são implementados em coberturas planas, com declive até 5° (CIRIA), sendo utilizados na sua grande maioria como espaços de lazer. Contudo, se não forem acessíveis ao público, maximizam o seu potencial ecológico.



Figura 4 - Cobertura intensiva localizada em Vancouver, composta por diversas espécies de plantas, um lago e outros adornos. A profundidade do substrato varia entre 30,5 – 61 cm ao longo da sua extensão. Fonte: (Earth Pledge, 2005).

As coberturas intensivas permitem uma maior variedade estética, uma vez que, a gama de plantas que podem ser utilizadas é muito superior (Figura 4). Esta característica deve-se sobretudo ao facto da profundidade do substrato ser superior a 15 cm (GRHC, 2006a). As estruturas que suportam este tipo de coberturas conseguem sustentar cargas muito elevadas, tornando possível colocar diversos adornos decorativos e de

lazer (como estátuas, fontes, lagos, *jacuzzis* e outros). Segundo *Green Roofs for Healthy Cities* (2006a) o peso médio das coberturas intensivas quando totalmente saturadas variará, aproximadamente, entre de 170 a 1465 kg/m².

Nestas coberturas, para além da vegetação que é utilizada nas extensivas, podem ser plantadas árvores, arbustos e plantas perenes, aumentando a biodiversidade. Geralmente, as plantas que são colocadas numa cobertura intensiva desidratam mais facilmente do que as que se encontram numa extensiva, pois não apresentam a mesma resistência aos factores ambientais adversos, como a seca e o vento. Assim, a manutenção deste tipo de coberturas será mais elevada, o que, por sua vez, aumentará o seu custo. Este, aliado à quantidade e tipo de materiais utilizados, como plantas, substrato e outros elementos (por exemplo, passeios e iluminação), aumentará o preço final de implementação deste tipo de coberturas.

1.3. Coberturas Semi-intensivas

A distinção entre coberturas intensivas e extensivas nem sempre é fácil, dado que, poderá haver uma combinação entre diferentes elementos destas duas, numa única, sendo neste caso designada por semi-intensiva (Figura 5). Neste tipo de coberturas híbridas há uma extensão do conceito de ecologia, onde é promovida a biodiversidade e a vida selvagem, não privando o Homem de observar este espetáculo natural (Dunnett, *et al.*, 2008). Apesar destas serem acessíveis ao público, geralmente, o Homem toma uma atitude de sujeito



Figura 5 - Cobertura semi-intensiva instalada numa escola em Manhattan, onde há uma separação nítida entre as zonas extensiva e intensiva. Fonte: (Greenroofs.com, a).

passivo. O principal método de distinção reside na profundidade do substrato. Em determinadas zonas da cobertura o substrato apresenta uma profundidade inferior a 15 cm, enquanto que noutras é superior. A variedade de plantas utilizadas é superior à das extensivas mas, no entanto, inferior à das intensivas. Quanto aos custos de instalação e manutenção, são um intermédio daqueles que são exercidos nas coberturas extensivas e intensivas.

2. Vantagens e Desvantagens das Coberturas Ajardinadas

Cada cobertura ajardinada apresenta características únicas (GRHC, 2006b). Estas são projetadas para alcançarem diversos objetivos, estando dependentes de fatores específicos como o orçamento, localização, capacidade de carga, preferências do cliente, disponibilidade de materiais e plantas, entre outros. No entanto, apesar de serem planeadas para responder a diferentes parâmetros, existem alguns vetores que são comuns às estruturas extensivas e intensivas. Assim, embora os materiais e métodos de implementação variem de cobertura para cobertura, todas elas apresentam os mesmos componentes básicos. Como tal, existem vantagens e desvantagens que são análogas a cada uma destas.

As coberturas extensivas, são mais simples e, por isso, mais fáceis de aplicar. A camada de substrato não é muito profunda, o que as torna consequentemente mais leves, podendo ser aplicadas em estruturas com declive mais acentuado (através da utilização de sistemas de apoio), sendo indicadas na reconstrução de muitos edifícios habitacionais, nomeadamente em Portugal, que se encontram maioritariamente cobertos por telhas. Relativamente ao fator económico requerem um investimento mais reduzido, quer na fase inicial, quer na fase de manutenção, mas não permitem uma grande variedade da condição estética.

Uma cobertura intensiva, dado que apresenta uma profundidade de substrato superior àquela que é colocada numa cobertura extensiva, permite um melhor isolamento térmico e acústico, possibilita a utilização de uma maior variedade de vegetação aumentando, por sua vez, a biodiversidade e a diversidade estética. Em contrapartida, este tipo de coberturas só podem ser instaladas em estruturas suficientemente fortes, que consigam suportar não só o seu peso inicial, mas também o peso da água após a irrigação ou um fenómeno de precipitação (em forma de água e/ou neve) e a força exercida pelo vento.

No Quadro 2 estão representadas as principais vantagens e desvantagens das coberturas extensivas e intensivas.

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens adjacentes às coberturas extensivas e intensivas. Adaptado de (GRHC, 2006b) & (Peck, *et al.*, 2003).

	Coberturas Extensivas	Coberturas Intensivas
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Leve; Geralmente não necessita de estruturas de reforço para o suporte da cobertura, sendo indispensáveis no caso de sistemas com declive; • Baixa necessidade de manutenção; • Menor investimento; • Indicado para implementar em estruturas já existentes (reabilitação de estruturas); • Pode ser instalado em declives até 45°; • Adequado para grandes áreas; • De mais fácil substituição; • Baixa necessidade de irrigação; • Pode não haver plantação, mas germinação espontânea através do vento, pássaros, abelhas e outros; • Aspeto mais natural; • Melhoria da qualidade ambiental; • Contribuem para a certificação energética e ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior diversidade de plantas e habitats; • Maior potencial de biodiversidade quando inacessíveis; • Grande variabilidade estética; • Melhor isolamento térmico; • Geralmente são acessíveis; • Espaço de lazer ou recreio; • Podem ser aplicadas em estruturas já existentes, mas é necessário reforçar os cuidados, sobretudo no que respeita à capacidade de carga; • Melhoria da qualidade ambiental; • Contribuem para a certificação energética e ambiental.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Menor variedade de plantas que podem ser utilizadas; • Normalmente não são acessíveis; • No Inverno, com a falta de vegetação, podem não ser esteticamente atrativas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesadas; • Grande necessidade de manutenção; • Elevado investimento; • Frequente irrigação; • Não podem ser aplicadas em estruturas com declive acentuado.

3. Estrutura das Coberturas Ajardinadas

A estrutura de uma cobertura ajardinada representa a interação entre todos os seus componentes (GRHC, 2006b). São utilizadas diversas camadas, umas associadas aos elementos naturais e outras aos componentes geralmente utilizados em coberturas convencionais (Snodgrass, *et al.*, 2010). Cada elemento da cobertura poderá desempenhar mais do que uma função, mas em conjunto devem estar aptos à execução dos objetivos para a qual esta foi projetada. Se um dos componentes estiver danificado ou não desempenhar corretamente as suas funções, poderá pôr em risco todo o sistema da cobertura.

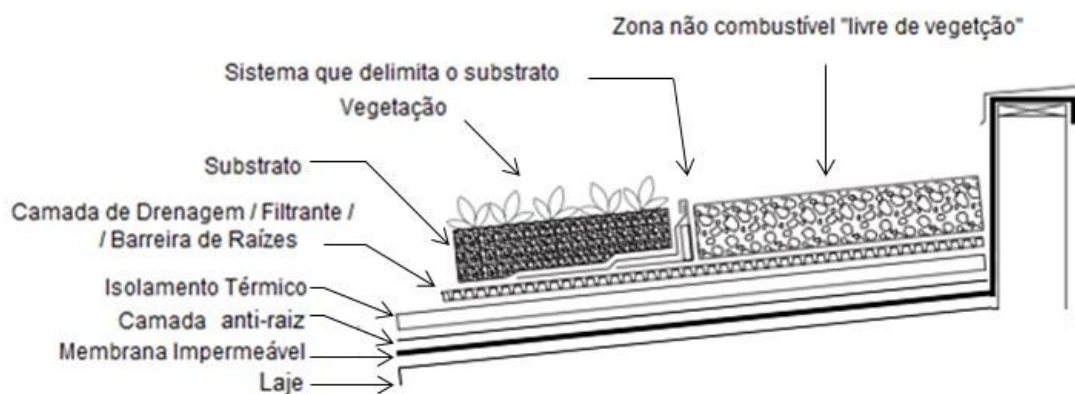


Figura 6 - Perfil de uma cobertura ajardinada. Adaptado de (Luckett, 2009).

Na implementação de uma cobertura ajardinada existem alguns componentes que são estritamente necessários. Destes fazem parte a laje, a membrana impermeável, a membrana anti-raiz, a camada de drenagem, a camada filtrante, o substrato e as plantas (Figura 6). Alguns destes componentes poderão estar representados na mesma camada, uma vez que certos materiais podem ter mais do que uma utilidade. No entanto, existem outros elementos que só se tornam essenciais dependendo do local e do objetivo para o qual são projetadas, como o isolamento térmico (em países com temperaturas elevadas, não é fundamental), iluminação, caminhos e passeios, corrimões, camada de controlo de erosão, entre outros (Suter, 2011f). Seguidamente serão descritos os elementos frequentemente utilizados numa cobertura ajardinada.

3.1. Membrana Impermeável

A utilização de uma membrana impermeável é um pré-requisito na implementação de uma cobertura ajardinada (Dunnett, *et al.*, 2008) (Figura 7). Estas devem ser hidrostáticas (GRHC, 2006b), ou seja, devem conseguir suportar a pressão de água que se encontra em repouso sobre a membrana durante longos períodos de tempo. Os custos associados à reparação das membranas impermeáveis são muito elevados, sobretudo se esta estiver instalada sob uma cobertura ajardinada pois, nesse caso, será necessário remover todos os elementos que estejam por cima dela, ao longo de toda a área que possa estar afetada. Assim, dependendo dos materiais utilizados, o reforço através do aumento do número de camadas impermeáveis ou da espessura das mesmas é uma das melhores práticas relativamente à colocação destas membranas. Este facto terá um pequeno impacto no custo inicial da cobertura, mas compensará o investimento a longo prazo no que respeita à performance, manutenção e durabilidade da membrana.

Dos sistemas de impermeabilização mais comuns fazem parte as camadas múltiplas de asfalto aplicadas a quente, emulsões betuminosas modificadas com membrana à prova de água (SBS ou APP), telas ou feltros betuminosos, membranas termoplásticas (PVC ou TPO) e membranas elastoméricas (EPDM) (GRHC, 2007). As membranas termoplásticas de TPO e as elastoméricas são as que causam menores impactos ambientais dado que são duradouras e os produtos que as compõem são recicláveis. Após a colocação da membrana impermeável é imprescindível verificar se existem fugas antes de se instalarem as camadas adjacentes (Snodgrass, *et al.*, 2010).

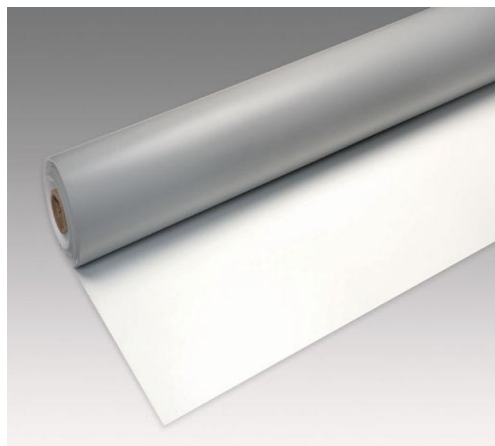


Figura 7 - Membrana impermeável de TPO.
Fonte: (Firestone).

3.1. Camada de Proteção de Raízes

A camada de proteção de raízes tem como propósito evitar que estas atravessem a membrana impermeável e penetrem na laje, prevenindo o colapso do edifício. Atualmente, algumas membranas impermeáveis já desempenham essa função, mas tal não invalida a colocação de uma camada extra, especificamente para essa utilidade. Por outro lado, existem outras camadas que também fornecem alguma resistência à penetração das raízes, nomeadamente a camada filtrante utilizada para separar o substrato da camada de drenagem.

A proteção contra as raízes pode ser feita mecânica ou quimicamente. Assim, utilizam-se membranas de TPO, EPDM, PVC, polietileno de alta densidade (HDPE), ou outras, no caso de proteção mecânica; e folhas de cobre, tecido impregnado com sulfato de cobre ou tecido embebido em herbicida (este último proibido em muitos Países), no caso de proteção química (GRHC, 2007). Há quem critique a utilização de barreiras de raízes químicas, alertando para o perigo de poderem reagir quimicamente com outros elementos da cobertura, ou dos produtos químicos serem lixiviados através da água drenada (Cantor, 2008). No entanto, outros não consideram a utilização das barreiras de cobre como um problema relevante, dado que, as tubagens da rede de distribuição de água são compostas por esse elemento. Para estes, se não causam efeitos adversos ao Homem, também não os causarão ao ambiente (Suter, 2011a).

3.2. Isolamento Térmico

A colocação do isolamento térmico numa cobertura está dependente do tipo de clima, não sendo necessária a sua utilização em climas quentes e húmidos (Suter, 2011a) (Figura 8). Esta camada tem como função limitar as flutuações de temperatura, evitando as perdas e os ganhos de calor (Cantor, 2008). Dos diferentes materiais que podem constituir os isolamentos térmicos, só alguns podem ser utilizados em coberturas ajardinadas. Destes fazem parte o poliestireno estrudido, poliestireno expandido, poliisocianurato (ISO), espuma de vidro e lã mineral (Suter, 2011c). Cada isolamento apresenta um valor-R que indica a resistência à transferência de calor, quanto maior o seu valor, menores são as perdas de calor para o exterior.

O isolamento pode ser colocado por cima ou por baixo da membrana impermeável, designando-se por cobertura invertida (ou de membrana protegida) no primeiro caso ou de cobertura convencional no segundo. As coberturas invertidas, comparativamente com as convencionais, têm não só a vantagem de proteger a membrana impermeável contra as agressões externas, nomeadamente da queda de material em cima desta na fase de instalação, ou da utilização negligente de equipamentos de jardinagem na fase de



Figura 8 – Espuma rígida de poliestireno estrudido. Fonte: (HCI).

manutenção, como facilitam a reparação de uma membrana impermeável que esteja danificada. Isto porque, ao contrário do que se verifica nas membranas convencionais, caso existam infiltrações, a água não migra, uma vez que nas coberturas invertidas as membranas são colocadas de forma a aderirem totalmente à laje. Neste caso, o único isolamento térmico que pode ser utilizado é o de espuma rígida de poliestireno estrudido. Tal deve-se ao facto de este ser extremamente resistente à água (GRHC, 2007), evitando que apodreça e que água fique em permanente contacto com a membrana impermeável.

Os isolamentos devem ser leves mas, ao mesmo tempo, resistentes à compressão, evitando a sua deformação quer aquando da instalação das coberturas, quer após a colocação das camadas superiores.

Estes podem ainda ser utilizados para criarem declives, uma vez que as coberturas devem ser instaladas em estruturas com pelo menos 2% de inclinação (FLL, 2008), de modo a criar condições para que água em excesso escoe através da força da gravidade.

3.3. Sistema de Drenagem e de Retenção de Água

Todas as coberturas ajardinadas devem possuir um sistema de drenagem eficiente. Estes sistemas dependem do declive da estrutura, do tipo de cobertura e da duração dos fenómenos de precipitação. Assim, o mesmo deve ser projetado de modo a facilitar o escoamento de água para fora da cobertura, promover a integridade desta (evitando o desgaste da membrana impermeável e diminuindo a carga exercida sobre a estrutura de suporte) e prevenir a morte das plantas por alagamento (GRHC, 2006b).

Em coberturas com baixo declive o uso de drenos torna-se fundamental, enquanto que em sistemas com declives acentuados, onde as plantas que se encontram no cume estão sujeitas a maiores condições de desidratação do que aquelas que estão no beiral, podem ser criados diferentes níveis de drenagem. Neste caso, é usual colocar uma camada de retenção de humidade no topo, uma esteira de drenagem fina no meio e uma esteira de drenagem com capacidade de retenção de água limitada no beiral (GRHC, 2006b).



Figura 9 - Camada de drenagem sintética acoplada com tecido filtrante, Filadélfia, Março de 2011.

Estes sistemas são geralmente compostos por drenos, tubos de drenagem e uma camada de drenagem (Figura 9). A camada de drenagem pode ser sintética ou composta por materiais minerais altamente permeáveis, como pedra pomes, argila expandida, cascalho, gravilha e outros. Esta camada permite que a água em excesso, que não foi absorvida pelas plantas nem retida pelo substrato, escoe para uma rede de canais do sistema. Posteriormente, a água pode ser recolhida para um tanque de armazenamento de água, dependendo do projeto e dos objetivos da construção. Caso a água seja armazenada, esta deve ser reutilizada quer para a rega da própria cobertura ajardinada, quer para o interior do edifício (por exemplo, nas descargas dos autoclismos).

A camada de drenagem, dependendo do material utilizado, não só desempenha funções de armazenamento de água (através da utilização de sistemas sintéticos com cavidades semifechadas), como permite o alargamento da zona de raízes e arejamento do sistema.

3.4. Camada Filtrante

A camada filtrante não é mais do que um tecido semipermeável de polipropileno (geotêxtil) que separa o substrato da camada de drenagem (GRHC, 2006b). Normalmente, este vem integrado nesta última se for sintética, mas é necessário adicioná-lo no caso de não

apresentar este componente, como se verifica em camadas de drenagem compostas por materiais minerais como o cascalho, pedra pomes ou outro. Apesar da camada filtrante ser extremamente fina, é um elemento crítico numa cobertura ajardinada, pois previne a sedimentação das partículas do substrato na camada de drenagem, evitando o seu entupimento (Cantor, 2008). Na eventualidade de obstrução da camada de drenagem dá-se a saturação do substrato que, por sua vez, pode danificar a vegetação, levando à morte da mesma. Esta camada permite ainda que as partículas orgânicas e o húmus, que naturalmente se movimentam para as camadas inferiores do substrato, não escoem, estando permanentemente disponíveis para as plantas (Heneine, 2008).

3.5. Substrato

O substrato é o material que suporta as raízes das plantas, mantendo-as estáveis e permitindo o seu desenvolvimento. Este está para uma cobertura ajardinada como o solo está para um jardim convencional (Snodgrass, *et al.*, 2010), no entanto, as semelhanças entre eles são poucas. Um substrato não se torna lamacento nem fica com uma textura pastosa aquando da queda de precipitação, apresentando sempre uma estrutura estável e uma compressibilidade mínima. Assim, o substrato é um material que é quimicamente manipulado para satisfazer determinadas exigências, aparentemente contraditórias, de uma cobertura ajardinada, devendo ser leve, apresentar uma boa drenagem e capacidade de retenção de água (GRHC, 2006b).

A composição do substrato é variável e a escolha dos materiais orgânicos e inorgânicos dependerá das características do meio envolvente e da finalidade da cobertura instalada. De entre os materiais vulgarmente utilizados na constituição do substrato, encontram-se a argila expandida, tijolo partido, pedra pomes, escória, zeolite, diatomite, areia, perlite, vermiculite ou lã mineral na fração inorgânica; e húmus, serradura, turfa, fezes de minhocas ou carvão ativado na fração orgânica (Suter, 2011b).

No Quadro 3 estão definidos intervalos médios relativos à proporção dos componentes de um substrato para uma cobertura extensiva e intensiva.

Quadro 3 - Proporção recomendada, em volume instalado, dos componentes de um substrato de acordo com o tipo de cobertura. Fonte: (GRHC, 2008) .

	Extensivas	Intensivas
Matéria Orgânica	0% - 25%	5% - 20%
Matéria Inorgânica Agregados Grosseiros	40% - 80%	35% - 60%
Matéria Inorgânica Agregados Finos	0% - 35%	25% - 50%
Volume de ar ao atingir a capacidade máxima de retenção de água	10% - 35%	15% - 45%

As necessidades de uma cobertura extensiva são diferentes das de uma cobertura intensiva mas, na generalidade, os substratos de ambos devem oferecer uma boa drenagem e arejamento, capacidade de retenção de água (para posterior absorção por parte das plantas), disponibilizar os nutrientes através da troca catiónica, resistir à decomposição e compressão, ser leves, física e quimicamente estáveis ao longo de todo o tempo de vida útil do edifício (Snodgrass, *et al.*, 2010).

Deve-se ter em conta que, na fase inicial de implementação desta camada, é necessário que haja uma maior manutenção de forma a evitar a propagação de ervas daninhas (Cantor, 2008), dado que, podem rapidamente suprimir o crescimento da vegetação recentemente plantada, quando ainda não se encontra totalmente estabelecida (Snodgrass, *et al.*, 2010).

3.6. Vegetação

As plantas são o componente da cobertura ajardinada que mais influência têm a nível estético. Nas coberturas extensivas predominam sobretudo plantas do género *Sedum*, da família das *Crassulaceae*. Estas apresentam um metabolismo que as torna mais resistentes à seca, ao calor, ao frio, ao vento e à escassez de nutrientes, sendo designadas de plantas CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*). Esta particularidade deve-se ao facto de, ao contrário das plantas C3 e C4 (Quadro 4), os estomas encontrarem-se fechados durante o dia, evitando perdas de água por evapotranspiração (GRHC, 2008). À noite os estomas abrem, permitindo a captação de CO₂, que é armazenado sob a forma de ácido málico (Borland, *et al.*, 2009). Este, através da incidência da luz solar, é descarboxilado, libertando CO₂ que depois é transformado em glucose (Scott, *et al.*, 1997) que fica posteriormente disponível para as plantas durante o dia. A maioria das plantas pertencem à categoria das C3, sendo que algumas delas, em condições de *stress*, conseguem alterar o seu metabolismo para

CAM (GRHC, 2008). Nestas coberturas podem também ser utilizadas plantas herbáceas e gramíneas.

Quadro 4 - Características das plantas C3, C4 e CAM. Adaptado de: (Martins, *et al.*, 2009), (Whitford, 2002), (Hodson, *et al.*, 2012).

	C3	C4	CAM
Fotorrespiração	Sim	Não	Não
Temperatura Ótima	≈ 25 °C	≈ 45 °C	≈ 35 °C
Taxa de Perda de Água (g H₂O/g C fixado)	≈ 600	≈ 250	≈ 50
Taxa de Fotossíntese [mg CO₂/(dm²·folha·h)]	25	60	3
Nº de Carbonos do Primeiro Composto Estável após a Fixação de CO₂	3	4	4
Fotossíntese	CO ₂ é fixado durante o dia. Ocorre a fotorrespiração (reação de oxigenação), que diminui a eficiência fotossintética (de 90% para cerca de 50%), mas é extremamente importante em condições de alta intensidade luminosa, baixo CO ₂ , e stress hídrico, permitindo dissipar ATP e NADPH em excesso, evitando danos no aparelho fotossintético.	CO ₂ é fixado durante o dia, mas são mais eficientes que as C3, porque têm maior produtividade, principalmente a temperaturas elevadas, permitindo o fecho dos estomas para controle da perda de água	CO ₂ é fixado durante a noite, reduzindo as perdas de água por transpiração

Numa cobertura extensiva é particularmente arriscada a utilização de uma só espécie de plantas (Cantor, 2008). É aconselhável plantar diferentes espécies uma vez que, quanto maior for a diversidade da vegetação utilizada, maior é a biodiversidade e mais elevada é a resistência às pragas e infeções. Já nas coberturas intensivas o espectro é mais alargado, desde plantas perenes, a arbustos e árvores, sendo o risco de ocorrência de infeções e pragas menor.

Esta camada permite a fixação de CO₂ através da fotossíntese, emitindo o oxigénio de volta para o meio ambiente. A vegetação, para além de melhorar a qualidade do ar nas cidades reduz o efeito da ilha de calor urbana, benefícios estes que serão explorados no próximo capítulo.

Capítulo II

Funções das Coberturas Ajardinadas

"The ultimate test of man's conscience may be his willingness to sacrifice something today for future generations whose words of thanks will not be heard."³

³ Gaylord Nelson, former governor of Wisconsin, original founder of the Earth Day.

4. Benefícios das Coberturas Ajardinadas

São poucas as tecnologias, para além das coberturas ajardinadas, que providenciem tantos benefícios em simultâneo, a nível público e privado (GRHC, 2006a), sendo por isso muitas vezes associadas à promessa de um papel remediador dos problemas ambientais (Lockett, 2009).

Os benefícios são múltiplos, abrangendo diversas vertentes, como a qualidade do ar, a poluição sonora, a biodiversidade, entre outros, mas os seus tipos e efeitos dependem não só do orçamento, *design* e estrutura do projeto, mas também do local onde este se encontra (Figura 10).

Por exemplo uma cobertura intensiva, cuja profundidade de substrato é superior à de uma extensiva, num local onde hajam precipitações intensas terá maior capacidade de absorção de água por m^2 , obtendo resultados mais significativos no que se refere à gestão de águas pluviais. No entanto, para que haja um impacto considerável no espaço urbano, é necessário aumentar o número de coberturas implementadas.

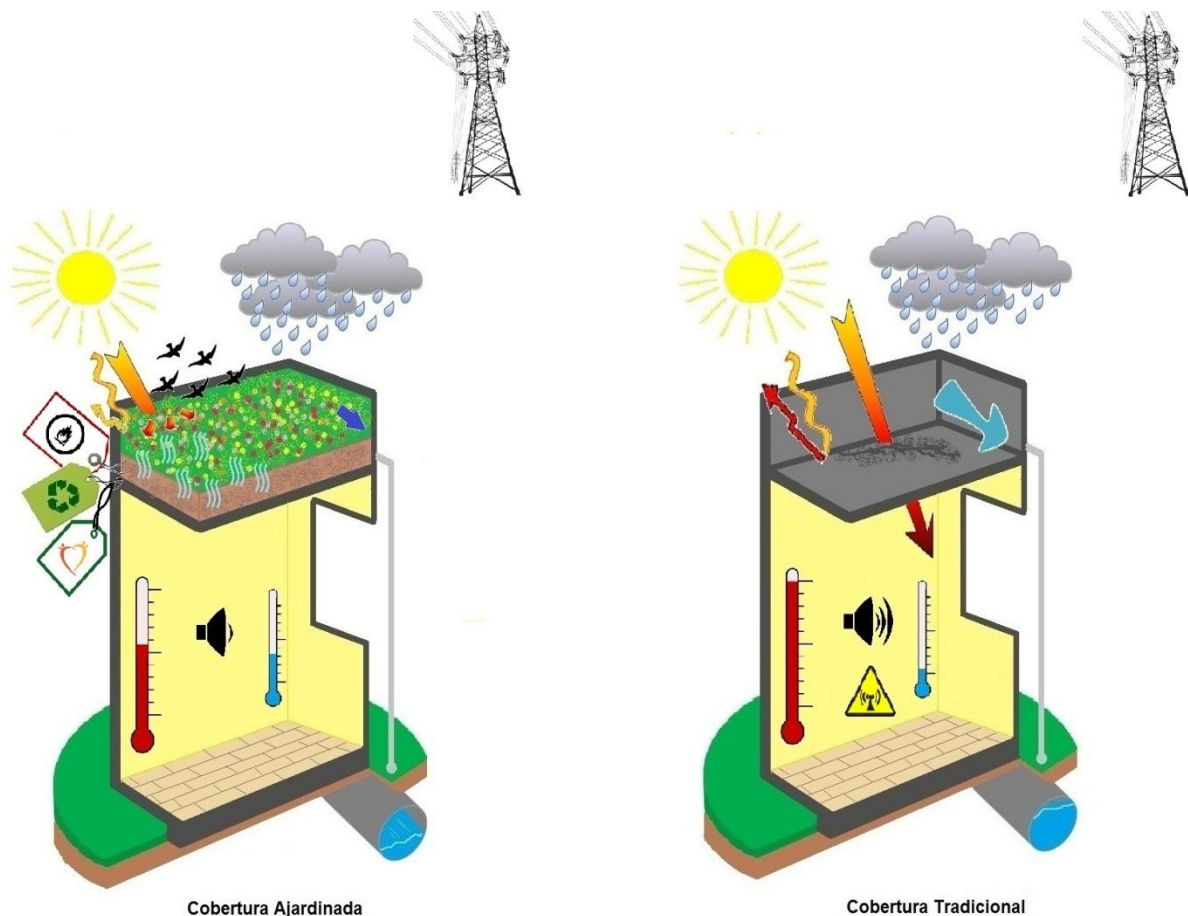






Figura 10 - Algumas vantagens das coberturas ajardinadas em comparação com as coberturas convencionais.

A crescente construção e dinamização destas coberturas está dependente da perceção do valor que estas representam para o meio social, ambiental e económico, sendo que, este último parâmetro não é facilmente quantificável. Atualmente, o seu custo inicial é o principal obstáculo à sua implementação, podendo custar o dobro, ou mais, do que uma cobertura tradicional (GRHC, 2006a). Existem quatro vias capazes de tornar estas coberturas mais acessíveis:









-  Incentivos públicos;
-  Desenvolvimento de novos produtos e inovação tecnológica;
-  Integração dos sistemas das coberturas ajardinadas com outros sistemas do edifício (nomeadamente o reaproveitamento de água pluvial para uso doméstico);
-  Expansão do mercado através da profissionalização de técnicos qualificados;

Em Portugal as coberturas extensivas, dependendo do tipo de materiais utilizados e inclinação do edifício, podem chegar aos 32 – 145 €/m², enquanto que nos EUA e no Canadá, onde estas estruturas estão mais dinamizadas, os recursos são mais alargados e existem incentivos à sua implementação, as mesmas coberturas podem variar entre 5 – 13 €/m². Sendo, por isso, necessário divulgá-las e publicitá-las, de modo a criar condições económicas favoráveis ao investimento destas coberturas.

4.1. Benefícios Públicos

A maioria dos benefícios derivados de uma cobertura ajardinada são públicos e para promover a sua expansão é necessário criar parcerias com o Estado, pois só quando implementados a grande escala é que os seus efeitos benéficos se tornam relevantes.

Apesar dos diversos impactes positivos desempenhados pelas coberturas, nem sempre é fácil classificá-los separadamente, uma vez que alguns benefícios dependem de outros ou de um agente comum. Destes fazem parte:

-  Aperfeiçoamento estético;
-  Redução dos resíduos;
-  Manutenção das águas pluviais: em Quantidade e Qualidade;
-  Mitigação do efeito de ilha de calor urbana;
-  Melhoria da qualidade do ar;
-  Melhoria do bem-estar e da qualidade de vida;
-  Aumento da biodiversidade;
-  Desenvolvimento da agricultura em zonas urbanas.

Seguidamente serão analisados cada um dos benefícios públicos anunciados.

4.1.1. Aperfeiçoamento Estético

Atualmente as zonas urbanas são dominadas por tons acinzentados, pálidos e escuros, que refletem a homogeneidade dos materiais utilizados na edificação das cidades. A estética urbanística desenvolvida ao longo dos séculos dá ênfase aos edifícios como estrutura, ao invés de os considerar como parte integrante do ambiente onde as pessoas realizam as suas atividades diárias (GRHC, 2006a). No entanto, nas últimas décadas verificou-se um movimento de preocupações ambientais, que tendem a orientar as metrópoles numa perspetiva de sustentabilidade, estando sensíveis às questões do foro ecológico. É neste sentido que a arquitetura bioclimática começa a dinamizar as construções, procurando tornar os edifícios ativistas no que se refere ao consumo energético, diminuindo as necessidades de fornecimento de frio, calor, iluminação e água.

As coberturas ajardinadas, para além de estarem integradas no conceito ecológico, permitem uma variação estética que se reflete num estímulo para os indivíduos que as podem observar e/ou tirar partido das mesmas. São inúmeras as possíveis combinações estéticas, fazendo variar diferentes espécies de plantas, substratos e objetos.

Os benefícios estéticos proporcionados por uma cobertura ajardinada variam dependendo se esta é projetada para ser visível e/ou acessível. O impacto positivo da paisagem urbana será maior caso sejam acessíveis, como o edifício da KPMG em Düsseldorf, Alemanha (Figura 11) , onde o indivíduo pode usufruir de um espaço de lazer; do que num edifício onde o sistema de cobertura é inacessível e desenhado para maximizar o potencial ecológico, como é o caso do aeroporto Schiphol em Amesterdão, Holanda (Figura 12).



Figura 11 - Cobertura intensiva acessível e visível da KPMG, Alemanha. Fonte: (Earth Pledge, 2005).



Figura 12 - Cobertura extensiva acessível somente para manutenção e visível apenas a partir de locais que estejam a uma cota superior à do aeroporto de Schiphol, Holanda. Fonte: (Earth Pledge, 2005).

4.1.2. Redução dos Resíduos

Em Portugal, só no ano de 2010, foram produzidos cerca de 5,3 milhões de toneladas de resíduos urbanos, dos quais 3,2 milhões de toneladas (61%) foram depositados em aterros sanitários (INE, 2011b). Embora a taxa de valorização dos resíduos, em comparação com anos anteriores, tenha vindo a aumentar, existem ainda muitos resíduos produzidos que, apesar do seu potencial, não são transformados e, posteriormente, aproveitados. A otimização deste fator é extremamente importante para desviar a concentração de resíduos nos aterros, dado que muitos já se encontram próximos do seu limite máximo de capacidade.

As coberturas ajardinadas podem contribuir para o desvio dos resíduos de três formas diferentes:

- ✚ Prolongando o tempo de vida útil das membranas impermeáveis;
- ✚ Utilizando materiais reciclados na constituição do substrato;
- ✚ Prolongando o tempo de vida útil de diferentes sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, diminuindo o seu uso.

Atualmente, o tempo de vida útil das membranas impermeáveis utilizadas nas coberturas convencionais varia entre 15 – 20 anos (Dunnett, *et al.*, 2008) dado que são compostas por materiais muito resistentes à degradação. No entanto, quando necessitam de ser substituídas tendem a ficar nos aterros durante longos períodos de tempo até que sejam totalmente degradadas. Numa cobertura ajardinada esta membrana, ao contrário das coberturas convencionais, fica protegida, aumentando 2 – 3 vezes o seu tempo de vida útil (GRHC, 2006a)(*ver secção 4.2.2*), o que resulta, a longo prazo, num menor número de membranas depositadas em aterros.

Por outro lado, podem ser utilizados materiais reciclados no substrato, como a argila expandida, granulados de serradura ou de cinza proveniente da queima de papel, que se tornam opções ambientalmente corretas e viáveis ao crescimento das plantas (Molineux, *et al.*, 2009). Outro elemento muito utilizado é o tijolo partido, proveniente dos resíduos das construções (FLL, 2008). Assim, a seleção correta dos materiais utilizados nas coberturas ajardinadas permitem diminuir a pegada ecológica dos edifícios, não só pelo uso de materiais recicláveis, como as membranas impermeáveis de TPO e EPDM (*ver secção 3.1*), mas também pela reutilização dos resíduos, aumentando a valorização destes e afastando-os dos aterros.

4.1.3. Manutenção das Águas Pluviais

A capacidade de armazenamento de águas pluviais em zonas urbanas densamente povoadas é muito limitada, não só por razões económicas, mas também pelo facto da percentagem de áreas permeáveis nestes locais ser muito baixa. No que se refere aos fatores económicos, os investimentos em sistemas de drenagem de águas pluviais são extremamente dispendiosos, pois acarretam o custo do terreno (muito elevado nas grandes cidades), das infraestruturas e da manutenção, devendo ser sujeitos a inspeções frequentes de modo a preservarem a sua integridade. Quanto à percentagem de áreas permeáveis, estas vão diminuindo à medida que nos deslocamos da periferia para o centro das cidades, o que se reflete no aumento do número de cheias e agravamento das mesmas, atingindo geralmente alturas mais elevadas nestas zonas, aquando um fenómeno de precipitação.

Grande parte da precipitação que atinge uma área permeável, como jardins, parques, descampados, etc., é absorvida pelo solo, chegando posteriormente aos lençóis freáticos. No entanto, como os grandes centros urbanos são constituídos essencialmente por betão, cimento, asfalto e outros materiais impermeáveis, a água não pode ser absorvida, escoando através dos sistemas de drenagem de águas pluviais, que excedem muitas vezes a sua capacidade máxima, acabando por desaguar nos rios (Dunnett, *et al.*, 2008). Em Lisboa grande parte das redes de drenagem de águas pluviais atuais não conseguem dar uma resposta satisfatória aquando da ocorrência de precipitação, mesmo quando a intensidade é mediana, verificando-se rapidamente o alagamento das condutas e sarjetas.

A utilização de métodos de gestão de águas pluviais nas zonas mais atreitas à ocorrência de cheias, reduz a pressão nos sistemas de drenagem, traduzindo-se no prolongamento do tempo de vida destes e na redução dos custos associados à inspeção, reparação e remediação ambiental (GRHC, 2006a). A implementação de áreas significativas de coberturas ajardinadas nos centros urbanos são uma proposta viável à redução de custos de manutenção destes sistemas. Segundo Foster *et al.* (2007) a implementação de 12.000 hectares de coberturas ajardinadas em Toronto, traduzir-se-á numa redução inicial de custos de manutenção de águas pluviais para a cidade na ordem dos \$164,6 milhões e de \$750 mil anuais referentes aos prejuízos resultantes do extravasamento dos sistemas de esgotos.

As coberturas ajardinadas, ao converterem superfícies impermeáveis em permeáveis, apresentam não só um impacto positivo na quantidade de água que é escoada durante um fenómeno de precipitação, como também podem afetar a sua qualidade. Assim, a implementação deste tipo de coberturas deve ser ponderado e integrado no planeamento urbano.

Quantidade da Água Escoda

Durante os períodos de precipitação a vegetação, o substrato e a camada de drenagem de uma cobertura ajardinada podem reter uma quantidade significativa de água (Cantor, 2008), o que permite reduzir o volume escoado para as sarjetas a cada instante, diminuindo a probabilidade de ocorrência de cheias.

Dependendo da intensidade da precipitação e da estrutura das coberturas, estas podem reduzir em média 65% do volume total de água escoada no caso de uma cobertura extensiva, ou 85% numa cobertura intensiva (Deutsch, *et al.*, 2005), o que contrasta nitidamente com as coberturas de asfalto planas que conseguem reter somente cerca de 14% (USEPA, 2009). Nestas últimas, a redução do escoamento deve-se sobretudo aos cantos, fendas e imperfeições que possam existir na laje, originando poças. Segundo Moran *et al.* (2005), para além das coberturas ajardinadas reduzirem o volume total de água escoada (Figura 13), durante um evento de precipitação, na primeira descarga (i.e., no primeiro período em que a pluviosidade é mais intensa), as coberturas extensivas podem reter cerca de 57-87% da água durante várias horas antes de ser escoada para as sarjetas. Desta forma, ao atenuar a taxa de escoamento máximo, reduzem a pressão exercida nos sistemas de drenagem.

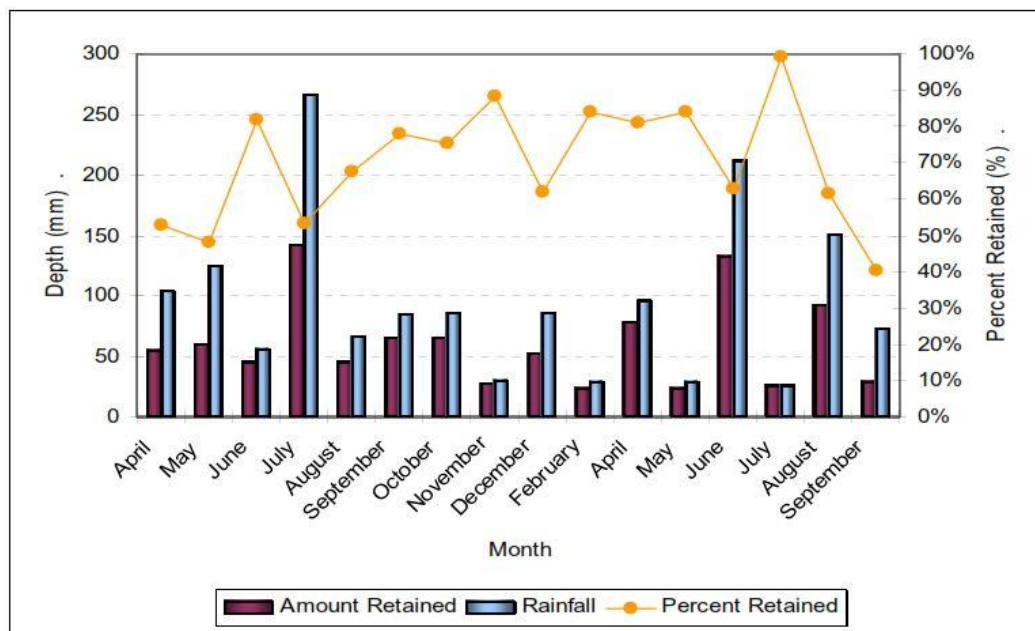


Figura 13 - Taxa de retenção de água pluvial, registada numa cobertura extensiva localizada na Carolina do Norte, durante o período de Abril de 2003 e Setembro de 2004. Fonte: (Moran, *et al.*, 2005).

A capacidade de retenção de água nas coberturas ajardinadas é diferente de cobertura para cobertura (GRHC, 2006a) e está dependente de fatores como:

- ✚ Profundidade e composição do substrato;
- ✚ Espécies de plantas e densidade;
- ✚ Declive da cobertura;
- ✚ Percentagem da superfície da cobertura que é revestida por vegetação;
- ✚ Frequência e intensidade dos fenômenos de precipitação;
- ✚ Presença de elementos com capacidade de retenção de água, incorporados no projeto.

Qualidade da Água Escuada

As coberturas ajardinadas, para além de contribuírem para a redução da quantidade de água pluvial escoada, afetam a sua qualidade de duas formas. Por um lado, ao reduzir o escoamento durante um fenómeno de precipitação, limitam a probabilidade de ocorrência de cheias que, por sua vez, diminui a quantidade de água não tratada que chega até aos meios recetores, evitando a contaminação dos mesmos; por outro, podem ser capazes de reter os poluentes contidos na água da chuva.

Geralmente, considera-se que a água da chuva é isenta de contaminantes, mas esta pode ser ácida e conter vestígios de poluentes, como metais pesados e pesticidas (Berndtsson, 2010). A concentração das substâncias químicas depende sobretudo dos ventos dominantes e da poluição local. Em zonas urbanas, os sólidos suspensos, os nutrientes, os hidrocarbonetos resultantes da queima incompleta de combustíveis, os pesticidas, os metais pesados e os microrganismos patogénicos são os poluentes mais encontrados nas águas pluviais.

Estes poluentes podem ficar retidos nos diversos componentes das coberturas ajardinadas, permitindo uma melhoria qualitativa da água que é posteriormente escoada. Num estudo realizado por Gregoire *et al.* (2011), uma cobertura extensiva reduziu cerca de 32% de teor de azoto total (N), eliminou toda a concentração de chumbo (Pb) e diminui a concentração de zinco (Zn) presente na água pluvial em 66%. No entanto, os teores de fósforo total (P) na água escoada aumentaram para o dobro. Tal aumento é, geralmente, justificado pela aplicação de fertilizantes na cobertura. Por essa razão, a concentração de N e potássio (K) na água escoada, por vezes, também poderá ser superior àquela que está presente na água pluvial. É importante ainda referir que, nesse estudo, verificou-se um aumento de todos estes poluentes na água escoada a partir de uma cobertura convencional.

Deste modo, a qualidade da água escoada pode ser significativamente alterada pelas coberturas ajardinadas, não só pelos contaminantes que nelas ficam retidos, mas também pelos nutrientes que delas podem ser lixiviados, sendo as concentrações de N, P e K

especialmente importantes nos dois primeiros anos após a implementação da cobertura (GRHC, 2006a), diminuindo com o passar do tempo a quantidade que é lixiviada, à medida que o substrato vai estabilizando (Moran, *et al.*, 2005).

4.1.4. Mitigação do Efeito de Ilha de Calor Urbana

O efeito de ilha de calor urbana é um fenómeno climático que ocorre nos centros urbanos, e que se traduz num aumento da temperatura devido à substituição da vegetação natural por edifícios, pavimentos e estruturas que suportam o aumento de concentração de indivíduos que se estabelecem nestes locais (Bousse, 2009). Geralmente, estas superfícies impermeáveis e secas, apresentam uma tonalidade escura, conferindo-lhes uma elevada capacidade de absorção da radiação solar. Estas convertem a radiação que nelas incide em energia, que é posteriormente libertada sob a forma de calor. Com a falta de vegetação e a elevada densidade de edifícios, não só em número como em altura, o processo de refrigeração natural, por evapotranspiração e circulação de massas de ar, é atenuado (GRHC, 2006a).

Assim, o efeito de ilha de calor urbana é o contraste entre as elevadas temperaturas dos centros urbanos e suburbanos com as temperaturas mais baixas que se fazem sentir nos seus arredores (Figura 14). O aumento de temperatura resultante deste efeito provoca alguns impactes negativos que afetam, direta ou indiretamente, a qualidade de vida:

- 🌳 Aumento do consumo de energia;
- 🌳 Aumento das emissões de gases poluentes, nomeadamente dos gases de efeito de estufa (GEE);
- 🌳 Comprometem a saúde e o conforto do Homem (USEPA, 2003).

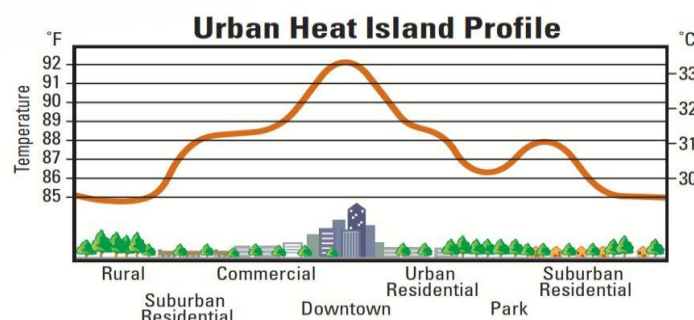


Figura 14 - Perfil típico de uma ilha de calor urbana, cujas temperaturas nas zonas rurais são inferiores às dos centros urbanos. Fonte: (USEPA, 2003).

A excessiva utilização de equipamentos como o ar condicionado, que permitem o arrefecimento do ar no interior do edifício, consomem uma grande quantidade de energia.

Essa energia, apesar dos esforços em utilizar fontes de origem renovável, ainda é sobretudo proveniente da queima de combustíveis fósseis, resultando na emissão de gases de dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de azoto (NO_x), partículas sólidas, monóxido de carbono (CO), mercúrio (Hg) e GEE, principalmente CO₂ (USEPA, 2008). Além dos gases emitidos para a atmosfera, as elevadas temperaturas nas áreas urbanas aumentam a taxa de formação de ozono (O₃) ao nível do solo, resultante da reação dos NO_x com os compostos orgânicos voláteis (COVs) na presença de luz solar (GRHC, 2006a).

O aumento da poluição atmosférica aliada às elevadas temperaturas que se fazem sentir nos centros urbanos causam grande desconforto para o Homem, dado que aumentam a probabilidade de ocorrência de problemas respiratórios e exaustão. Uma das principais causas do aumento do número de mortes que ocorreram durante as ondas de calor a nível mundial em 2003, pode ser atribuído ao efeito das ilhas de calor urbanas, dado que, a taxa de mortalidade nas zonas urbanas foi superior à das zonas rurais (Greater London Authority, 2006). Em Lisboa, nos dias de Verão, as zonas ribeirinhas, por influência das brisas do estuário do Tejo, podem registar valores de temperatura 3 a 4 °C inferiores às que são sentidas em zonas mais interiores, como por exemplo perto do Aeroporto (Alcoforado, *et al.*, 2005).

Num estudo realizado pela NASA (1998), verificou-se que as superfícies mais quentes em cidades como Baton Rouge, Houston, Sacramento e Salt Lake City no Verão eram as coberturas convencionais, atingindo temperaturas de 71 °C, enquanto que as temperaturas da vegetação e da água variavam entre os 24 e os 35 °C. Deste modo, as coberturas ajardinadas ao reduzirem a temperatura ambiente através da evapotranspiração e do efeito de sombra da vegetação, ajudam a mitigar o efeito de ilha de calor urbana, cobrindo algumas das superfícies que mais absorvem a radiação solar (as coberturas betuminosas). Segundo Bousse (2009) as coberturas intensivas poderão reduzir a temperatura ambiente em 4,2 °C. A contribuição das coberturas ajardinadas na mitigação deste efeito está dependente da presença de humidade no sistema da cobertura, da área implementada, bem como do tipo e densidade da vegetação (GRHC, 2006a).

4.1.5. Melhoria da Qualidade do Ar

As elevadas temperaturas dos centros urbanos em conjunto com o aumento do número de automóveis, a utilização excessiva de equipamentos que controlam a temperatura do ar no interior dos edifícios, a recorrente dependência do consumo de eletricidade e as contínuas emissões provenientes das indústrias, tendem a aumentar a concentração de poluentes e de partículas sólidas na atmosfera, degradando de forma contínua a qualidade do ar nesses

locais. De acordo com a Organização Mundial da Saúde, a poluição atmosférica representa o maior perigo para a saúde humana, causando infeções respiratórias, doenças do coração e cancro do pulmão. Este problema reflete-se sobretudo nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, onde se estima que a poluição do ar exterior é a causa de morte de 1,3 milhões de pessoas por ano; e a poluição do ar interior a causa de morte prematura de 2 milhões, sendo que, neste último caso, as crianças são as mais afetadas (WHO, 2011). Assim, é essencial que, cidades com graves problemas de poluição deste tipo, tomem as medidas necessárias à sua redução, de forma a controlar e reduzir os danos causados (Yang, *et al.*, 2008).

Algumas das soluções passam pelo controle das emissões na fonte, mas só isso não é suficiente, pois embora reduzam as emissões de contaminantes, não controlam as que já foram emitidas. Para este efeito, as coberturas ajardinadas podem ser vistas como uma solução, dado que baixam as temperaturas extremas do Verão, aprisionam as partículas sólidas (através da deposição seca) e capturam os gases (GRHC, 2006a). A quantidade de contaminantes dissipada por estas coberturas depende da concentração destes no ar, das condições meteorológicas, assim como do tipo e fase de crescimento da vegetação. Yang *et al.* (2008), através de um modelo de deposição seca, verificaram que as coberturas ajardinadas removem, aproximadamente, 85 kg/(ha·ano) de poluentes atmosféricos em Chicago, sendo o O₃ o mais dissipado (52%), seguido do NO₂ (27%), PM₁₀ (14%) e SO₂ (7%). No entanto, este efeito só é considerável caso as coberturas estejam confinadas a um espaço demarcado e não isoladas entre si (Dunnett, *et al.*, 2008).

Outro aspeto importante das coberturas ajardinadas, relativamente à melhoria da qualidade do ar, reside no facto de diminuírem a concentração de CO₂ na atmosfera por duas vias: uma de forma direta, através da absorção do CO₂ pelas plantas, utilizado no processo de fotossíntese; outra de forma indireta, a partir da redução do consumo de eletricidade. Num dia de Sol a concentração de CO₂ na região próxima de uma cobertura ajardinada pode ser reduzida em 2% pelo processo de fotossíntese (Li, *et al.*, 2011). Quanto ao consumo de energia, um estudo realizado por Sailor (2008), através da utilização de um modelo que simula os gastos energéticos dos edifícios, demonstrou uma redução no consumo anual de eletricidade de 2% e uma redução no consumo anual de gás natural da ordem dos 9 – 11%, traduzindo-se numa poupança anual de 27,2 a 30,7 GJ em eletricidade e de 9,5 a 38,6 GJ em gás natural num edifício comercial de dois pisos, com 2.000 m² de cobertura intensiva. Apesar disso, o desempenho na redução da concentração de CO₂ depende do sistema utilizado (nomeadamente o tipo de vegetação e profundidade do substrato, do recurso à irrigação, do uso e espessura de isolamento térmico, etc.) e da intensidade da luz solar, permitindo que haja uma maior redução quando esta é mais elevada.

Assim, as coberturas ajardinadas permitem não só a redução de alguns poluentes presentes na atmosfera, bem como uma diminuição da concentração CO₂. No entanto, a performance relativa à qualidade do ar está dependente das características da cobertura ajardinada e das condições atmosféricas da região.

4.1.6. Melhoria do Bem-estar e Qualidade de Vida

Atualmente, os padrões de desenvolvimento urbano impulsionam estilos de vida sedentária, onde a exposição a ambientes naturais é cada vez menor, gerando-se ambientes hostis, sobretudo nos locais de trabalho, aumentando não só o *stress*, como doenças derivadas a partir deste. Portugal é o país da Europa com maior taxa de depressão, ficando somente atrás dos Estados Unidos no que se refere à escala global (Lusa, 2011). O aumento desta taxa tem consequências devastadoras para a sociedade portuguesa, podendo ser a causa de morte de 1.200 pessoas por ano, bem como representar um prejuízo de 1.227 milhões €, dos quais 80% deste valor resultam da perda de produtividade temporária por incapacidade, 17% são atribuídos aos custos com a saúde e os restantes 3% associados a suicídios (Lusa, 2010). Segundo Grahn *et al.* (2003), as pessoas menos afetadas pelo *stress* são aquelas que passam mais tempo em espaços verdes ao ar-livre.

As coberturas convencionais são enormes espaços que se encontram subutilizados em áreas urbanas e suburbanas (Dunnett, *et al.*, 2008), o que faz deles ótimos candidatos para a criação de espaços verdes, para que possam ser posteriormente utilizados como espaços lúdicos e de lazer. Deste modo, a conversão das coberturas convencionais em coberturas ajardinadas permite:

- ✚ Repor parte da natureza que foi retirada de determinado local para dar lugar a uma nova edificação;
- ✚ Aumentar o contacto do Homem com a Natureza;
- ✚ Aumentar a segurança, uma vez que o acesso às coberturas é condicionado aos utentes do edifício, evitando o vandalismo, o crime e outros problemas sociais, muitas vezes presenciados nos jardins públicos.

Existem inúmeras referências que relatam a interação entre o Homem e as plantas como sendo benéficas física, mental e socialmente para o primeiro (Figura 15). Ulrich (1984) reparou que os pacientes cirúrgicos, cuja vista dos quartos davam para um jardim, estiveram menos tempo internados, necessitaram de menores cuidados pós-operatórios, tomaram menos analgésicos, bem como tiveram menos e menores complicações após a cirurgia, do que aqueles cuja vista eram paredes de tijolo.



Figura 15 - Cobertura intensiva, do Hospital Internacional de St. Luke, em Tóquio, Japão. Fonte: (Earth Pledge, 2005).

Nas empresas as coberturas ajardinadas podem representar um local atrativo para as pausas laborais, evitando a agitação vivenciada nas zonas urbanas. Neste caso, têm a vantagem de reduzir o tempo das pausas laborais, pois os trabalhadores não são obrigados a deslocarem-se para outro espaço fora do edifício, como aumentam o conforto destes, diminuindo o número de sensações negativas (dor de cabeça, fadiga, náusea, etc.) e aumentando a sua concentração (Fjeld, 2000). Para além disso, a presença de espaços verdes tem efeitos positivos na sociedade, diminuindo o número e tipo de crimes cometidos nas zonas urbanas e suburbanas. De acordo com Kuo *et al.* (2001), nas áreas de um bairro social em Chicago onde o nível de vegetação era mais elevado, o número total de crimes cometidos foram 10% inferiores aos observados nas áreas com nível de vegetação média e 52% inferiores aos observados nas áreas com baixo nível de vegetação; registando-se, ainda, uma diminuição de crimes violentos em 12% e 56% na zona com nível de vegetação mais elevado, em comparação com as áreas de médio e baixo nível, respetivamente.

4.1.7. Aumento da Biodiversidade

As principais razões para o aumento da taxa de extinção das espécies deve-se à redução do número de habitats naturais, à exploração excessiva dos recursos naturais, às alterações climáticas e à introdução de espécies exóticas fora do seu ambiente natural, adjacentes ao desenvolvimento urbano (GRHC, 2006a). As coberturas ajardinadas podem desempenhar um papel importante na preservação e conservação da biodiversidade nas cidades. Estas ajudam a mitigar alguns dos impactos negativos gerados nos ecossistemas em função do crescimento urbano, possibilitando o desenvolvimento da fauna e flora num espaço que, noutro caso, seria estéril. A reintrodução de vegetação diversificada nas cidades pode recriar as condições necessárias à sobrevivência de muitas espécies animais (GRHC, 2006a).

As coberturas ajardinadas tendem a atrair algumas espécies de aves e invertebrados (Snodgrass, *et al.*, 2010), conseguindo sustentar uma maior diversidade de espécies quanto mais variada for a vegetação (Dunnett, *et al.*, 2008). Em algumas cidades, são elas que oferecem o único espaço valioso à instalação e permanência da vida selvagem (Kadas, 2007). Nos EUA, estão a ser projetadas novas coberturas com o intuito de atrair espécies de borboletas em vias de extinção (Snodgrass, *et al.*, 2010). Em Washington, D.C., Borrelhos-de-dupla-coleira (*Charadrius vociferus*) fazem os seus ninhos em coberturas ajardinadas (Figura 16). Na Suíça, o rabirruivo-preto (*Phoenicurus ochruros*), a alvéola (*Motacilla*), o pombo comum (*Columba livia*) e o pardal-doméstico (*Passer domesticus*) foram as espécies de aves mais observadas nestas coberturas, cujo habitat



Figura 16 – Borrelho-de-dupla-coleira numa cobertura ajardinada, Washington, D.C., USA
Fonte: (Snodgrass, *et al.*, 2006)

natural se insere em zonas montanhosas, rochosas, pradarias e junto às margens dos rios (Dunnett, *et al.*, 2008). Na Suécia, foi instalado um jardim botânico numa cobertura, com uma área de 2 hectares, na tentativa de tornar a cidade industrializada de Malmö numa “Ecocity” (Earth Pledge, 2005). E, na Alemanha voltaram a ser avistados esquilos em algumas das grandes cidades (Nestler, 2012).

Geralmente, são as coberturas extensivas que apresentam melhores indicadores de biodiversidade, uma vez que são, na sua grande maioria, inacessíveis ao Homem. No entanto, qualquer tipo de cobertura ajardinada, extensiva ou intensiva, acessível ou inacessível, poderá ser um instrumento de auxílio à conservação da biodiversidade e à estabilização dos ecossistemas locais.

4.1.8. Desenvolvimento da Agricultura em Zonas Urbanas

São diariamente importadas grandes quantidades de alimentos para os centros urbanos de modo a satisfazer as necessidades da população local. O afastamento dos produtores e dos consumidores aumenta a vulnerabilidade dos sistemas de distribuição, podendo resultar numa grande quantidade de alimentos deitados para o lixo mesmo antes do abastecimento dos supermercados; ou porque já não preenchem os requisitos de qualidade e segurança alimentar, pela permanência excessiva em contentores durante o transporte, ou porque simplesmente já se encontram estragados. Para além disso, este afastamento aumenta o consumo de combustíveis fósseis e o preço final do produto. Assim, algumas cidades como

Nova Iorque, Toronto, Brisbane, Hong Kong e outras, procuram alternativas que possam levar à redução da distância entre consumidores e produtores, produzindo produtos alimentares nos seus centros, aumentando a sua autossuficiência. As coberturas ajardinadas, embora não tenham a capacidade de substituir a agricultura tradicional, conseguem produzir parte de alguns produtos que são importados de zonas rurais.

A cobertura ajardinada da Fundação *Earth Pledge* (Figura 17), com cerca de 65 m², situada no centro de Manhattan, Nova Iorque, tem na sua constituição plantas decorativas, bem como ervas aromáticas (manjerição, salsa, alfavaca, estragão, verbena, erva-cidreira, *catmint*, tomilho), tomates, pimentos, rúcula, pepinos, abóbora, alface e beringela. Estima-se que o Hotel *Fairmount Waterfront*, em Vancouver, poupe entre \$25.000 – \$30.000 todos os anos por produzir, na sua cobertura, ervas aromáticas, vegetais, frutos e plantas comestíveis, que são posteriormente utilizados no restaurante do hotel (Kerr Wood Leidal Associates, 2009).



Figura 17 – Tomates e pimentos (à esquerda) e beringela (à direita), produzidos na cobertura ajardinada da Fundação *Earth Pledge*. Fonte: (Earth Pledge, 2005).

São poucas as coberturas ajardinadas que são projetadas para a produção de alimentos no contexto comercial, sendo geralmente produzidas para um nicho de mercado muito específico, ou para consumo próprio (GRHC, 2006a). Existem alguns programas, como os da Fundação *Earth Pledge*, que procuram sobretudo a educação e sensibilização da população para a produção e consumo de produtos alimentares biológicos, através da utilização de um espaço, a cobertura de um edifício, que é vulgarmente subaproveitado, ou até mesmo inutilizado.

4.2. Benefícios Privados

As coberturas ajardinadas são tecnologias que, embora o investimento inicial seja muito superior ao das coberturas tradicionais (ver secção 4), podem tornar-se economicamente competitivas. Dos benefícios privados, fazem parte:

- Eficiência energética;
- Aumento da durabilidade da membrana impermeável;
- Diminuição do risco de incêndio;
- Redução da poluição sonora;
- Bloqueio da radiação eletromagnética.

Seguidamente serão analisados cada um dos benefícios privados.

4.2.1. Eficiência energética

A construção inadequada da envolvente de um edifício origina elevadas perdas de calor do interior para o exterior, resultando numa diminuição da eficiência energética. A principal função da envolvente de um edifício é manter a qualidade do ar interior e a temperatura a um nível confortável para os seus ocupantes, independentemente das condições exteriores.

É a partir das coberturas convencionais que se verificam, durante o Inverno, 60% das perdas de calor devido à subida de ar quente (Suter, 2011c); e os maiores ganhos durante o Verão, com as suas temperaturas a atingirem, em média, os 45 °C (Liu, *et al.*, 2003). Um estudo realizado pelo *National Research Council of Canada* em 2003, verificou que as coberturas ajardinadas moderaram de forma significativa os fluxos térmicos entre o interior e o exterior do edifício (Figura 18), reduzindo em mais de 75% a necessidade diária de utilização de ar condicionado no Verão (Liu, *et al.*, 2003).

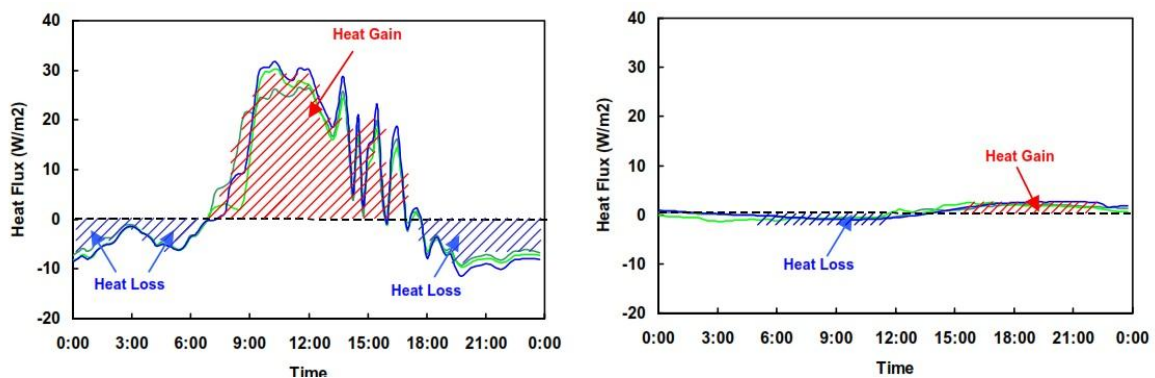


Figura 18 - Fluxos térmicos de uma cobertura convencional (à esquerda) e de uma cobertura ajardinada (à direita) num dia de Verão (16 de Julho de 2001), indicando que esta última reduz de forma significativa as amplitudes térmicas. Fonte: (Liu, *et al.*, 2003).

O mesmo estudo observou ainda que estas coberturas foram mais eficazes em reduzir os ganhos de calor no Verão, do que as perdas de calor no Inverno. Assim, relativamente à eficiência energética, as coberturas ajardinadas demonstram ter maior influência nos meses mais quentes do que nos meses mais frios.

O aumento do potencial de eficiência energética do edifício, proporcionada por uma cobertura ajardinada, depende de alguns fatores como o sombreamento direto da cobertura, a necessidade de irrigação, a taxa de evapotranspiração e o isolamento térmico adicional, ambos facultados pelo tipo de plantas e substrato utilizado (GRHC, 2006a). A variação de algum destes fatores poderá ter um forte impacto na performance da cobertura (Dunnett, *et al.*, 2008). O aumento da profundidade do substrato aumenta a resistência aos fluxos de calor entre o exterior e o interior; e a taxa de evapotranspiração da vegetação aumenta com a frequência de irrigação, sendo maior em plantas com elevadas necessidades de água e menor em plantas resistentes à seca. De acordo com Niachou *et al.* (2001), a aplicação de vegetação densa e com coloração verde escura diminui a temperatura à superfície da cobertura ajardinada. Outro aspeto relevante na eficiência energética incide na proporção entre a área coberta por vegetação e a área pavimentada, sendo mais elevada à medida que esta proporção aumenta.

4.2.2. Aumento da Durabilidade da Membrana Impermeável

A implementação de coberturas ajardinadas pode provocar alguma desconfiança relativamente às infiltrações de humidade nos edifícios. No entanto, com a utilização de um método apropriado de construção estas tendem a durar mais tempo do que as coberturas convencionais, resultando em benefícios económicos para o proprietário. As coberturas convencionais, ao contrário das coberturas ajardinadas, estão sujeitas a maiores flutuações de temperatura que, por conseguinte, aceleram a degradação das membranas impermeáveis, reduzindo a sua durabilidade (GRHC, 2006a).

Nas coberturas convencionais, as elevadas temperaturas a que estão sujeitas e a incidência dos raios ultravioletas (UV) nas membranas podem alterar a sua composição química, provocando gradualmente o seu desgaste (Dunnett, *et al.*, 2008). Pelo contrário, nas coberturas ajardinadas as membranas são cobertas por diversas camadas que as protegem, resultando numa menor taxa de degradação. No Verão, a membrana impermeável de uma cobertura convencional, ao absorver a radiação solar, pode atingir temperaturas próximas dos 70 °C, enquanto que numa cobertura ajardinada este valor mantém-se próximo dos 25 °C (Liu, *et al.*, 2003) (Figura 19).

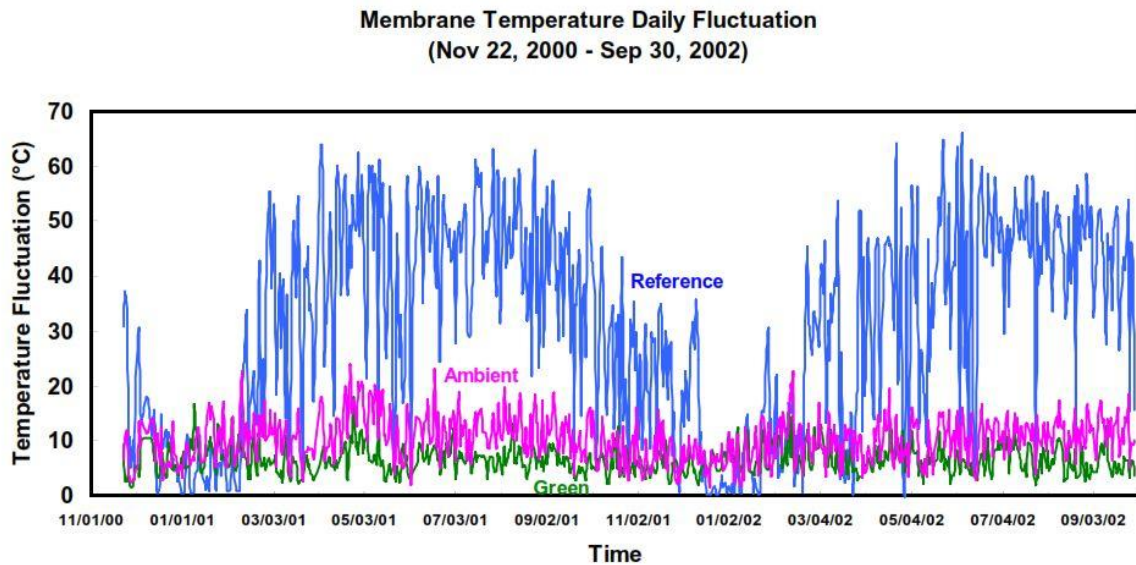


Figura 19 - Comparação entre as flutuações de temperatura registadas numa cobertura convencional (*reference*) e numa cobertura ajardinada (*green*) com a temperatura ambiente (*ambient*). Fonte: (Liu, *et al.*, 2003).

Por este motivo, as membranas impermeáveis das coberturas ajardinadas tendem a durar duas a três vezes mais do que as das coberturas convencionais (GRHC, 2006a), reduzindo o número de vezes que são substituídas, bem como a quantidade de resíduos produzidos, evitando a sobrecarga em aterros.

4.2.3. Diminuição do Risco de Incêndio

As primeiras coberturas ajardinadas da Alemanha foram instaladas com o propósito da redução do risco de incêndios (GRHC, 2006a), no entanto, no final da década de 1980, aumentaram as preocupações relativamente ao perigo de formação de fogos nas coberturas extensivas, devido à reduzida profundidade do substrato e à vegetação seca. Como consequência dessas inquietações, foram realizados diversos testes pelo *Research and Materials Testing Institute of Baden-Württemberg*, com o propósito de quantificar a resistência das coberturas extensivas às faíscas e ao calor radiado.

Inicialmente, verificaram que a queima de uma tela impermeável betuminosa produzia 50 kWh/m², contrastando com o calor gerado na queima de uma cobertura extensiva composta por gramíneas secas, que apenas produzia 3 kWh/m² (Breuning, 2007). Posteriormente, com o intuito de verificar a inflamabilidade das coberturas extensivas, concluíram que era quase impossível a propagação de fogo nestas; e que a probabilidade de uma cobertura betuminosa incendiar era 15 a 20 vezes superior à de uma cobertura extensiva. Por este motivo, são diversas as seguradoras Alemãs que oferecem 10 - 20% de desconto no seguro de incêndio em edifícios com coberturas ajardinadas (Breuning, 2007).

A construção de caminhos, ou outras áreas livres de vegetação, com material pouco inflamável, nomeadamente gravilha ou pedra, constitui um dos métodos utilizados na prevenção de incêndio das coberturas ajardinadas, demarcando as áreas com vegetação. Outro método consiste no tipo de vegetação utilizada, dado que algumas plantas são mais inflamáveis que outras. Por exemplo, as plantas suculentas, devido à quantidade de água que armazenam nas suas células, apresentam uma maior resistência ao fogo do que as gramíneas, sobretudo nos períodos de seca. A disposição correta da vegetação, como a delimitação de áreas compostas por gramíneas com plantas suculentas, diminui o perigo de incêndio. O tipo de plantas utilizadas, a forma como estão dispostas e a sua adequada manutenção, bem como o tipo e profundidade do substrato e a frequência de irrigação são as propriedades que mais contribuem para a diminuição do risco de incêndio (GRHC, 2006a).

4.2.4. Redução da Poluição Sonora

As coberturas ajardinadas permitem excelentes isolamentos acústicos, atenuando de forma eficiente a poluição sonora. Uma cobertura extensiva pode reduzir a poluição sonora até 40 dB, enquanto que uma intensiva pode reduzir entre 46 a 50 dB (Dunnett, *et al.*, 2008). A implementação de uma destas coberturas nos escritórios da GAP em *San Bruno*, na Califórnia (Figura 20), situados próximo do aeroporto internacional de *San Francisco*, onde são produzidos 140 dB sempre que um avião descola, foi essencial para atingir os limites de ruído estipulados pela *Occupational Safety and Health Administration* (GRHC, 2006a), 90 dB durante 8 horas (OSHA). Estima-se que esta cobertura permite atenuar os níveis sonoros até 50 dB (Greenroofs.com, b).



Figura 20 - Cobertura ajardinada semi-intensiva dos escritórios da GAP. Fonte: (Greenroofs.com, b).

A densidade da vegetação, a área coberta por esta, a composição e profundidade do substrato são os fatores que mais influenciam a redução da poluição sonora (GRHC, 2006a).

4.2.5. Bloqueio da Radiação Eletromagnética

O sistema informático e das telecomunicações tem evoluído de tal forma que a utilização de aparelhos sem fios e de telefones móveis têm vindo a aumentar drasticamente ao longo dos anos. Esta evolução tem levantado algumas questões relativamente à segurança e qualidade da saúde pública devido à frequente exposição de radiação eletromagnética. Embora o risco representado por estas tecnologias ainda seja inconclusivo, segundo a Comissão Europeia (2007), o risco de desenvolvimento de determinados cancros poderá aumentar para quem viva durante longos períodos de tempo próximo das linhas de alta tensão. A probabilidade de desenvolvimento de cancros como a leucemia e o linfoma é cinco vezes superior no caso de se ter vivido durante o período de infância a uma distância inferior a 300 metros das linhas de alta tensão (EC, 2007). Uma vez que as coberturas ajardinadas são capazes de reduzir a entrada de radiação eletromagnética, que passa através das coberturas, em 99,4% (GRHC, 2006a), podem tornar-se altamente vantajosas nas proximidades de postes e linhas de alta tensão, ou caso exista algum equipamento de telecomunicações instalado no topo do edifício.

Em suma, as coberturas ajardinadas apresentam diversos benefícios públicos e privados, cujo impacto está dependente sobretudo do tipo de cobertura e das suas características, bem como das condições locais. O Quadro 5 define o nível de influência que as coberturas extensivas e intensivas podem ter em cada um dos benefícios.

Quadro 5 - Nível de impacto de acordo com o tipo de cobertura e benefício. Legenda: (+++) excelente; (++) muito bom; (+) bom e (-) não afecta.

	Extensivas		Intensivas
	Acessível	Inacessível	
Aperfeiçoamento estético	++		+++
Redução dos resíduos	+++		+++
Manutenção de águas pluviais	++		+++
Melhoria da qualidade do ar	++		+++
Melhoria do bem-estar e qualidade de vida	++	+	+++
Aumento da biodiversidade	+	+++	++
Desenvolvimento da agricultura em zonas urbanas	+	-	++
Eficiência energética	++		+++
Diminuição do risco de incêndio	++	+++	++
Redução da poluição sonora	++		+++
Bloqueio da radiação eletromagnética	++		+++

Capítulo III

As Águas Pluviais e a Escassez de Água

"If there is magic on this planet, it is contained in water." ⁴

"All the water that will ever be, is right now." ⁵

"When the well is dry, we know the worth of water." ⁶

⁴ Loran Eisely, *The Immense Journey*, 1957

⁵ National Geographic, October 1993

⁶ Benjamin Franklin (1706-1790), *Poor Richard's Almanac*, 1746

5. Enquadramento

À escala mundial tem-se vindo a observar um aumento do número de fenómenos meteorológicos e hidrológicos extremos como consequência do aquecimento global. Com o agravar das alterações climáticas intensificam-se os efeitos negativos no ciclo natural da água, aumentando a duração e a intensidade das secas, alterando os períodos naturais de precipitação e a sua magnitude, assim como aumentando o risco de ocorrência de cheias que, por sua vez, é reforçado pela expansão das áreas impermeáveis resultantes do desenvolvimento urbano (EEA, 2005).

As cheias são dos fenómenos naturais mais dramáticos no que respeita aos prejuízos materiais e perda de vidas humanas em todo o mundo, incluindo Portugal (Pereira, 1995) (Figura 21). Os sistemas de drenagem de águas pluviais são um dos fatores que mais influência têm na frequência de cheias das zonas urbanas, originadas sobretudo por precipitações intensas e de curta duração. Devido às fortes pressões urbanas, que se têm



Figura 21 - Inundações em Lisboa, após uma forte e repentina chuvada em Outubro de 2010. Fonte: (Monteiro, 2010).

verificado ao longo dos tempos, e ao elevado custo das infraestruturas, o dimensionamento dos sistemas de drenagem é geralmente inadequado às necessidades locais. A Região de Lisboa assistiu a um *boom* de construções, principalmente a partir da década de 1960 (Duarte, *et al.*, 2006), que aumentaram drasticamente a área impermeável da cidade (Figura 22), refletindo-se na ampliação do risco de ocorrência de cheias e da sua perigosidade provocada pelo aumento do escoamento superficial e consequente arrastamento de carga sólida. Com a evolução da ocupação do solo, as suas pequenas bacias hidrográficas, caracterizadas por tempos de concentração muito reduzidos (Duarte, *et al.*, 2006), aliadas à deficiência e manutenção débil dos sistemas de drenagem de águas pluviais,

estão incapacitadas de responder de forma eficiente quando atingidas por chuvas intensas, originando inúmeros prejuízos materiais e, em situações mais graves, perdas de vida humana e animal, bem como a contaminação dos meios hídricos recetores.

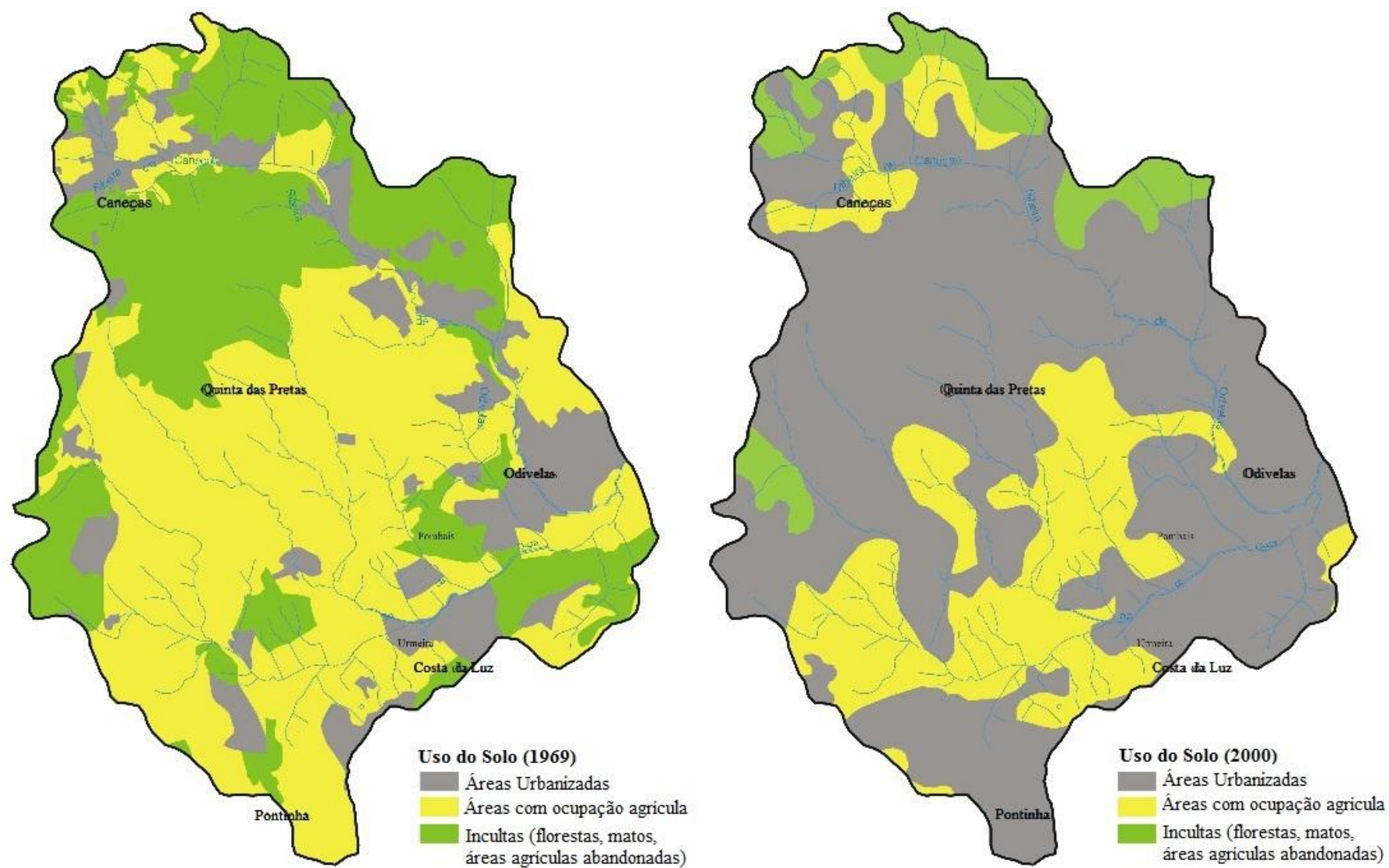


Figura 22 - Evolução do uso do solo na bacia hidrográfica da Ribeira de Odivelas em 1969 e 2000. Fonte: (Duarte, *et al.*, 2006).

Em áreas urbanas e suburbanas, o escoamento de águas pluviais pelos pavimentos transporta consigo diversos poluentes que provocam um aumento de turvação da água, bem como a acumulação de sólidos suspensos e de substâncias tóxicas (Duarte, *et al.*, 2006). A adoção de algumas medidas de prevenção podem mitigar estes efeitos adversos, entre elas incluem-se:

- ✚ Tratamento por escoamento superficial, que consiste na implementação de coberto vegetal sob áreas impermeáveis, que atuam como filtro biológico;
- ✚ Tratamento por retenção e detenção da água em bacias de amortecimento e câmaras drenantes;
- ✚ Tratamento por infiltração rápida em terrenos permeáveis, que filtra a água que é percolada no solo (Sousa, *et al.*, 2005).

“O elevado custo dos investimentos afetos aos sistemas de drenagem de águas pluviais, relativamente ao das outras infraestruturas urbanas (...) torna especialmente relevante a necessidade de se implementarem soluções tecnicamente adequadas, mas também economicamente viáveis” (Sousa, *et al.*, 2005). O dimensionamento de coletores capazes de drenar de forma eficiente os caudais de ponta de cheia, originados por precipitações intensas e de curta duração, ao longo de toda a extensão urbana, é extremamente dispendioso, sendo uma opção amplamente rejeitada pelos órgãos de planeamento urbano. A integração de áreas permeáveis em áreas impermeáveis é, atualmente, o princípio urbanístico mais adequado para a redução dos caudais de ponta das águas pluviais e controlo da sua qualidade (Sousa, *et al.*, 2005). Esta disposição de descontinuidade do perfil urbanístico, tem como objetivos aumentar o volume de água infiltrada, retida e intercetada a partir do solo e vegetação, podendo ser alcançada, em parte, através da implementação de coberturas ajardinadas (*ver secção 4.1.3*). Para além disso, é essencial promover o armazenamento temporário da água em sistemas apropriados, de forma a poder ser reutilizada em determinados usos domésticos e outros.

6. Escassez de Água

A água é um recurso fundamental para a sobrevivência das espécies e, embora pareça abundante, é esgotável, tornando-se cada vez mais escassa e degradada sob o ponto de vista ambiental. Deste bem precioso, só 2,5% representam a fração de água doce a nível mundial, sendo que 68,9% deste volume se encontra sob a forma de gelo e neve, ocupando as áreas montanhosas, assim como as regiões Árticas e Antárticas onde se concentram os glaciares e as calotes polares; 30,8% permanecem em zonas subterrâneas e somente 0,3% ocupam os lagos e os rios (UNEP, 2007). Globalmente, a quantidade de água disponível

para consumo humano e aproveitamento dos ecossistemas é inferior a 1%, derivado em grande parte das águas subterrâneas.

Numa abordagem económica, com o crescimento da população mundial, ao contrário da oferta, a procura deste recurso tende a aumentar, tornando-se cada vez mais valioso. De acordo com a ONU, atualmente a escassez de água atinge cerca de 700 milhões de pessoas em todo o mundo, traduzindo-se numa disponibilidade de água inferior a 1000 m³ por pessoa por ano, não se prevendo melhorias futuras. Em 2025, estima-se que 1,8 bilhões de pessoas viverão em áreas de escassez absoluta (menos de 500 m³ de água por pessoa por ano), e aproximadamente metade da população mundial viverá em zonas classificadas com “*stress de água*” (menos de 1700 m³ de água por pessoa por ano) em 2030 (UN).

Sendo a água um bem vital e insuficiente para suprir as necessidades da população mundial, torna-se fundamental considerá-la como um meio estratégico, de forma a garantir o desenvolvimento de cada país, evitando a sua escassez, assim como o aumento do seu preço de compra, a um nível tal que já não possa ser sustentado pela população. Embora Portugal à escala nacional e anual não apresente graves problemas de disponibilidade e reservas de água (INAG, 2011), o registo de situações de seca meteorológica (medida essencialmente pela quantidade de precipitação) são frequentes (IM). A última grande seca ocorreu no período de Novembro de 2004 a Fevereiro de 2006, e já no início deste ano 100% do território português atingiu as classes de seca severa e extrema, verificando-se que Fevereiro foi o mês mais seco dos últimos 80 anos (IM, 2012). Por outro lado, em redes públicas e edifícios, estima-se que as perdas de água anuais rondem os 3.000 milhões de metros cúbicos (Sacadura, 2011). Assim, é essencial garantir uma elevada eficiência e independência neste recurso, reduzindo de forma significativa as suas perdas e desperdícios.

6.1. Reaproveitamento de Águas Pluviais

Com o alargamento das cidades e a evolução tecnológica, houve uma alteração dos costumes diários que contribuíram para o aumento do consumo de água potável (Sacadura, 2011). Por outro lado, com a extensão da metrópole, a crescente impermeabilização dos solos diminui a quantidade de água pluvial que é infiltrada, reduzindo a recarga dos aquíferos e aumentando o escoamento superficial (Sacadura, 2011). Consequentemente, a probabilidade e a intensidade de ocorrência de cheias aumentam, suscitando a descarga de águas não tratadas em recetores hídricos com maior frequência (Vaz, *et al.*, 2011). Deste modo, é urgente criar um planeamento do uso eficiente da água. Uma das propostas reside no aproveitamento de águas pluviais em edifícios de habitação, comerciais e industriais,

permitindo a substituição de água potável quando utilizada em fins menos nobres (Sacadura, 2011), nomeadamente lavagem de pavimentos e descarga dos autoclismos. O controlo do volume de água que é drenado das coberturas, durante e após as precipitações, com a consequente diminuição de alagamentos em meios urbanos e redução do volume de descargas nos meios recetores, bem como a poupança de água potável, integram algumas das principais vantagens associadas à implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais (SAAP) (Simões, 2007).

As águas pluviais podem ser aproveitadas para diversos fins, nomeadamente:

- 🔧 Descarga de autoclismos;
- 🔧 Lavagem de pavimentos;
- 🔧 Lavagem de veículos;
- 🔧 Rega de espaços verdes;
- 🔧 Lavagem de roupa nas respetivas máquinas de lavar.

Em instalações de maiores dimensões, como indústrias, hotéis, edifícios empresariais, centros comerciais, entre outros, para além dos aproveitamentos anteriormente enumerados, podem ainda ser utilizadas para:

- 🔧 Arrefecimento das coberturas, equipamentos e máquinas;
- 🔧 Sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado);
- 🔧 Serviços de limpeza;
- 🔧 Combate a incêndios;
- 🔧 Reposição de água que é evaporada nas piscinas de hotéis.

A implementação dos SAAP (Figura 23) é uma prática antiga, que entrou em desuso com o desenvolvimento dos sistemas de abastecimento públicos. Um pouco por todo o território português existem diversas referências, como o castelo dos Templários e o Convento de Cristo em Tomar, onde se utilizavam cisternas de armazenamento de água pluvial, que abasteciam as populações caso a água escasseasse nos períodos em que as muralhas estavam cercadas pelos inimigos (Oliveira, 2008). Atualmente, verifica-se o retorno da valorização desta prática.

De uma forma geral, a água da chuva que cai sobre as coberturas é captada por estes sistemas, direcionando-a para uma ou mais cisternas (normalmente subterrâneas), para posterior utilização. Durante um evento de precipitação a água é recolhida em caleiras, constituídas com malhas de plástico ou metal, filtrando os sedimentos, folhas e detritos. De seguida, é canalizada por tubos de queda até outro sistema de filtragem, onde são retirados

os sedimentos e as impurezas que passaram na primeira filtração antes de ser armazenada nas cisternas. Aqui efetua-se uma última limpeza e filtragem para que possa ser utilizada em operações que não necessitem de água potável (Oliveira, 2008).

As cisternas podem ser subterrâneas ou superficiais, embora estas últimas devam ser instaladas em locais que disponham de alguma área livre, tendo a vantagem de poder utilizar a água em algumas atividades sem que seja necessário bombeá-la, nomeadamente a rega de espaços verdes e áreas pavimentadas. Em contrapartida, o armazenamento subterrâneo permite manter a água fresca e protegida da radiação solar, evitando o crescimento microbiano (Rodrigues, 2010).

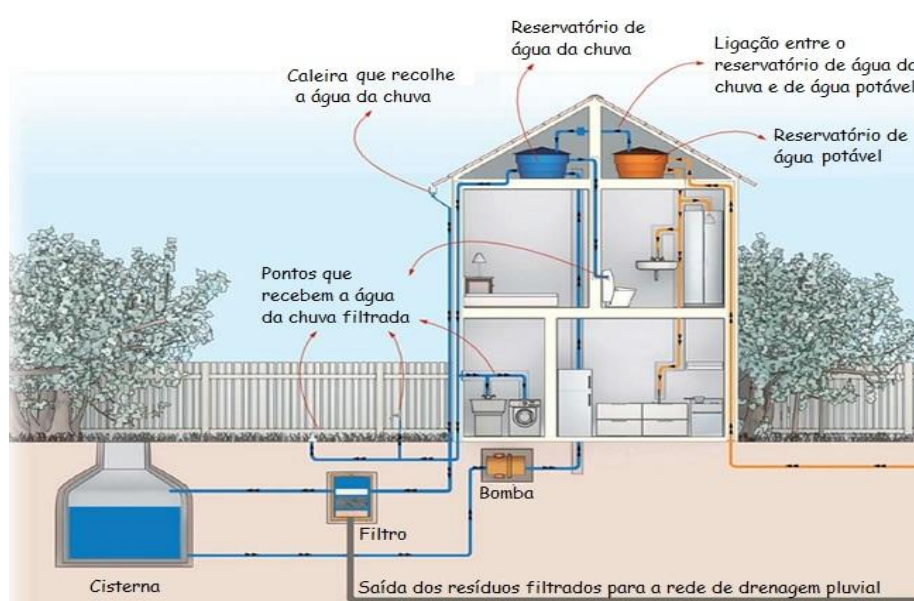


Figura 23 - Exemplo simplificado de implementação de um SAAP. Adaptado de: (Ramos).

Ao implementar um SAAP, é essencial colocar um sistema controlador de água que permite a transferência de água potável da rede de distribuição para a cisterna, no momento em que esta não satisfaça as necessidades de consumo (Rodrigues, 2010).

6.2. Integração das Coberturas Ajardinadas com os SAAP

A irrigação das coberturas ajardinadas é outra atividade que só requer a utilização de água potável no caso de servirem para fins agrícolas (GRHC, 2006a). Se a vegetação plantada nas coberturas não for para consumo, a irrigação deve ser feita com água reciclada ou água pluvial, evitando o uso desnecessário de água de alta qualidade. O reaproveitamento de águas pluviais poderá ser feito a partir do seu armazenamento numa cisterna, conforme descrito anteriormente (ver secção 0).

Hoje em dia, têm-se vindo a desenvolver sistemas de reaproveitamento de água em coberturas ajardinadas, reutilizando a água dos duches, banhos e lavatórios. Estes sistemas não só reduzem o *stress* provocado nas redes de drenagem de águas residuais urbanas, como as mantêm limpas por muito mais tempo, prolongando o seu tempo de vida útil e reduzindo o impacto ambiental. Geralmente, a água é bombeada até à cobertura, seguidamente é purificada ao passar por filtros, areia e algas marinhas (biofiltragem), sendo posteriormente armazenada numa cisterna (GRHC, 2006a).

Nalguns casos, ambos os sistemas são implementados, havendo uma interação entre eles, como por exemplo o sistema GROW (*Green Roof Water Recycling System*), patenteado pela Water Works em 2004, (Figura 24 e Figura 25). Este sistema é construído na cobertura e reaproveita a água do duche, banho e lavatório, bombeando-a até à



Figura 24 - Sistema GROW. Fonte: (ETAP, 2006).

superfície da cobertura ajardinada, onde são tratadas por plantas semi-aquáticas (ETAP, 2006). No sistema GROW, as raízes das plantas desempenham um papel fundamental, absorvendo naturalmente os poluentes dissolvidos nas águas cinzentas (GRHC, 2006a). A água filtrada é posteriormente armazenada numa cisterna, por meio de uma caleira, e o efluente produzido retirado através de uma tubagem inserida no último vale. Em paralelo com este processo, a água pluvial em excesso, que não é absorvida pelas plantas nem pelo substrato, escoar por outra caleira até à cisterna de mistura (de água pluvial e água reciclada).

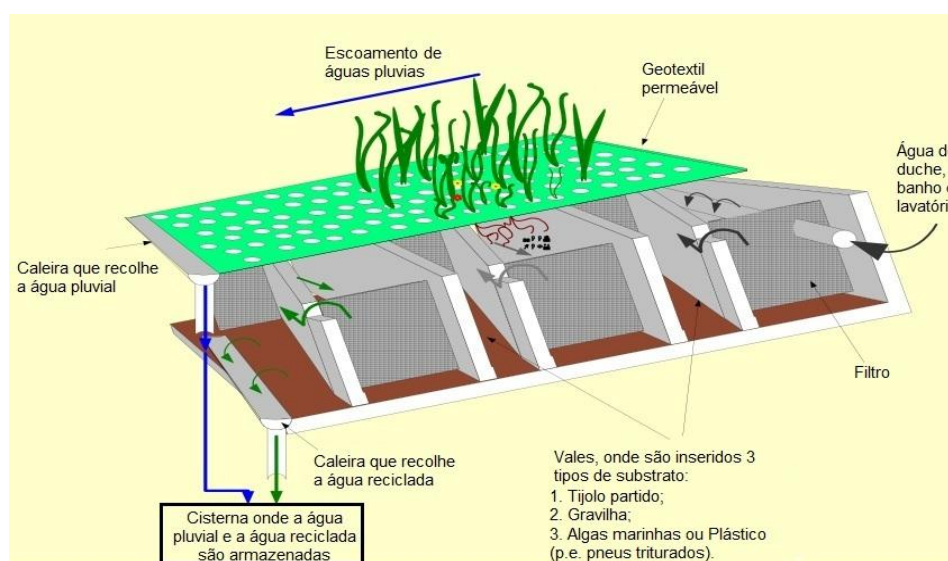


Figura 25 - Diagrama do sistema de reciclagem de águas residuais e de aproveitamento de águas pluviais GROW da Water Works. Adaptado de: (Shirley-Smith, 2005).

Os sistemas implementados podem ser diversos, dependendo dos projetistas, arquitetos e construtores, e devem ser projetados de acordo com as necessidades de consumo de água do edifício (GRHC, 2006a).

Por exemplo, a cobertura ajardinada semi-intensiva do edifício sustentável da *Mountain Equipment Co-op* (uma loja de desportos de aventura ao ar livre) (Figura 26) sediada em Toronto, Canadá, utiliza um sistema de painéis fotovoltaicos para irrigar a vegetação (constituída por espécies de plantas indígenas que se encontram em vias de extinção nesse local), com água da chuva previamente armazenada, numa proporção direta com a



Figura 26 - Cobertura ajardinada da Mountain Equipment Co-op. Fonte: (Greenroofs.com, c).

intensidade da luz solar. Nesta cobertura são ainda incorporados outros processos de reciclagem, como a compostagem dos resíduos sólidos de duas das suas sanitas, onde o N produzido é inserido na água de irrigação para fertirega; e os restantes sólidos, assim como os restos de comida gerados no edifício, são colocados no substrato, fornecendo-lhe matéria orgânica. Estas e outras medidas sustentáveis permitiram a obtenção de uma certificação *Gold LEED* (Greenroofs.com, c).

Capítulo IV

Análise de Dois Casos de Estudo

"I hope that while so many people are out smelling the flowers, someone is taking the time to plant some." ⁷

⁷ Herbert Rappaport, *Marking Time*, Simon & Schuster, 1991

7. Materiais e Métodos

7.1. Caracterização das Coberturas Ajardinadas

As coberturas ajardinadas não são conceitos recentes e, devido à evolução tecnológica e aos estudos realizados na área, estão em constante desenvolvimento. A soma destes elementos contribuiu para a sua dinamização, levando ao aumento do número de áreas implementadas em todo o mundo. As coberturas analisadas neste estudo para além de se encontrarem em zonas do globo diferentes, terem dimensões, vegetação e usos distintos, estão separadas temporalmente, tendo sido a cobertura da FCG implementada 42 anos antes da cobertura habitacional. Assim, é necessário ter em conta que as diferenças existentes entre cada substrato podem ser relevantes do ponto de vista da evolução dos produtos.

7.1.1. Cobertura Ajardinada Habitacional

A cobertura ajardinada de uma habitação (Figura 27), localizada na Bainbridge Street, Filadélfia, é uma cobertura intensiva projetada e implementada pela *BioNeighbors* em 2011. Filadélfia é caracterizada por um clima temperado (com Verões quentes e húmidos, e Invernos rigorosos), onde a precipitação é bem distribuída ao longo de todo o ano, ocorrendo em média durante 8 a 11 dias de cada mês (NOAA). Presentemente, a implementação de coberturas ajardinadas em Filadélfia com uma profundidade de substrato superior a 7,6 cm permite isenções fiscais (Suter, 2011d), podendo representar um crédito nas taxas municipais de 25% dos custos de construção, não excedendo os \$100.000 (Philadelphia Government).

Esta cobertura tem como principais objetivos aumentar o espaço útil da casa (servindo de uma área de lazer e relaxamento para os seus ocupantes), assim como reduzir a fatura da eletricidade e das taxas municipais relativas à manutenção de águas pluviais. Tem aproximadamente 30 m² e é composta por três zonas distintas:

- ✚ um espaço de lazer e de refeições onde se pode observar toda a vista panorâmica da baixa da cidade;
- ✚ uma área de relaxamento, onde o jacuzzi é coberto pela vegetação em redor, tornando o espaço mais privado e acolhedor;



Figura 27 – Vista panorâmica da baixa da cidade de Filadélfia da cobertura intensiva ainda na fase de construção.

✂ e a área das máquinas (sistemas AVAC, tubagens, etc.) disfarçados por uma vedação de bambu colocada em seu redor, permitindo um fácil acesso no caso de necessidade de manutenção.

Esta cobertura é constituída por uma membrana impermeável de TPO, tendo propriedades anti-raiz; um isolamento térmico de poliestireno extrudido, utilizado também para fazer enchimentos, de forma a diminuir a quantidade de substrato utilizado em algumas zonas da cobertura; uma membrana de drenagem sintética, composta por um geotêxtil (camada filtrante) e uns alvéolos em forma de raiz para permitir a drenagem de água (Figura 9); um substrato extremamente leve constituído por poliestireno expandido e húmus, o Gaia Soil, com profundidades muito variáveis ao longo da cobertura, aproximadamente, entre 6 – 50 cm; e uma combinação de oito espécies de *Sedum*, cinco espécies de plantas perenes, três espécies de gramíneas e duas espécies de arbustos. O sistema de rega utilizado, é o sistema gota-a-gota programado, que é acionado sempre que o sensor de precipitação chega a um nível mínimo estabelecido. Prevêem-se 3 a 4 visitas anuais para a manutenção da cobertura.

7.1.2. Cobertura Ajardinada da Fundação Calouste Gulbenkian

A cobertura ajardinada da Fundação Calouste Gulbenkian (Figura 28), localizada na Avenida de Berna, Lisboa, é uma cobertura intensiva projetada e construída pelos arquitetos paisagistas António Viana Barreto e Gonçalo Ribeiro Telles, tendo sido concluída em 1969. Lisboa apresenta um clima mediterrâneo (caracterizado por Verões quentes e secos, e Invernos moderados e húmidos), cujos períodos de maior concentração da precipitação centram-se nos meses de Outubro a Abril, sendo geralmente escassa nos restantes (CML, 2010). Ao contrário de Filadélfia, em Portugal a implementação de coberturas ajardinadas não permite incentivos fiscais, que se tornam essenciais à dinamização destas estruturas.



Figura 28 – Cobertura ajardinada da Fundação Calouste Gulbenkian. Fonte: (FCG).

A cobertura ajardinada da Gulbenkian foi implementada sobre os edifícios da Fundação e sobre o parque subterrâneo, perfazendo uma área total de 17.000 m² de cobertura (Costa, 2010). Foi projetada de forma a manter a continuidade entre o parque e os edifícios, integrando a construção na paisagem. É acessível ao público, servindo como espaço de relaxamento, lazer, lúdico e educativo, o que aumenta o tráfego diário sobre a cobertura.

É constituída por lajes de betão, que servem não só de suporte da estrutura, mas também de caminho para peões, sendo envolvida por um lago e uma vegetação autóctone. Apresenta

uma camada de drenagem constituída por brita, gravilha e turfa quando a profundidade do substrato é superior a 30 cm, e por gravilha e lã de vidro nas áreas em que este atinge os 15 a 30 cm; uma camada filtrante de lã de vidro; e um substrato formado pela combinação de uma “terra franca arenosa, terriço de raspagem da mata de folhosas e turfa”, de modo a que não excedesse os 1.000 kg/m^3 (Telles, 1970). Dada a complexidade do sistema, esta estrutura obriga a que haja uma manutenção diária.

7.2. Análise das Amostras

Com o intuito de avaliar e comparar a influência dos substratos utilizados numa cobertura ajardinada moderna e numa cobertura clássica, foram recolhidas três amostras de substrato:

- ✚ Substrato da cobertura habitacional de Filadélfia, denominado por Gaia Soil;
- ✚ Substrato da cobertura da FCG não renovado;
- ✚ Substrato da cobertura da FCG que foi renovado há um ano⁸.

Neste estudo, fez-se uma abordagem experimental à capacidade de retenção de água e densidade de cada substrato (antes e depois de saturados), no sentido de estimar a quantidade de água da chuva capaz de ser absorvida por estes, bem como avaliar a carga que cada um deles pode exercer sobre uma estrutura. E, uma outra abordagem, ao teor de metais pesados e de nutrientes presentes nos substratos e na água da chuva antes e depois de passar por cada um deles, de forma a analisar a influência de cada substrato na qualidade da água lixiviada. Foram ainda determinados os teores de humidade, de matéria orgânica e de matéria inorgânica de cada substrato.

No Quadro 6, encontram-se sintetizados os métodos laboratoriais utilizados para a determinação de cada um dos parâmetros anunciados. No entanto, note-se que dada a heterogeneidade, perceptível à vista desarmada, entre o peso e o volume do Gaia Soil e dos substratos da FCG, somente nos procedimentos experimentais da digestão ácida e da passagem de 100 mL de água da chuva pelas amostras de substrato foram utilizadas as mesmas quantidades em todos os substratos ($\approx 0,5 \text{ g}$ e $4,5 \text{ g}$, respetivamente), optando-se por moldar, da melhor forma possível, cada amostra aos restantes procedimentos. Foram realizadas três repetições amostrais para cada substrato em todos os testes.

Note-se também, que a água da chuva foi recolhida numa área sub-urbana, rodeada por vegetação e onde o tráfego de automóveis é reduzido (Anexo), como tal, terá menor concentração de poluentes do que uma água recolhida no centro de Lisboa.

⁸ Substrato (não original do projecto) que foi colocado há um ano numa pequena fracção da cobertura ajardinada da FCG, resultante da manutenção da estrutura.

Quadro 6 - Métodos laboratoriais utilizados para a análise das amostras de substratos e de água pluvial antes e depois de passar pelos substratos.

Determinação	Expressão dos Resultados	Métodos Utilizados
Densidade Aparente	kg/m ³	Peso dos substratos em 25 cm ³
Densidade na Saturação	kg/m ³	Peso dos substratos saturados em 25 cm ³
Capacidade de Retenção de Água	L/m ³	Saturação dos substratos por capilaridade durante 72h. ^a
Humidade	%	Método Gravimétrico: Perda por secagem dos substratos a $\approx 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 h. ^b
Matéria Orgânica	%	Método Gravimétrico: Perda por calcinação dos substratos a $\approx 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 3 h. ^b
Matéria Inorgânica	%	Método Gravimétrico: Perda por calcinação dos substratos a $\approx 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 3 h. ^b
Azoto (Amoniacal e Nítrico)	mg/L	<u>Na água pluvial antes e depois de passar pelos substratos:</u> análise direta por injeção de fluxo segmentado. <u>Nos substratos:</u> extração com 30 mL de KCl ^c a 2 M, seguido da análise por injeção de fluxo segmentado.
Fósforo	mg/L	<u>Na água pluvial antes e depois de passar pelos substratos:</u> método colorimétrico de vanadomolibdato de amónio, seguido pela determinação através da espectrofotometria de absorção molecular ($\lambda=375\text{ nm}$). <u>Nos substratos:</u> extração com 30 mL de KCl ^c a 2 M, seguido do método colorimétrico de vanadomolibdato de amónio e posterior determinação por espectrofotometria de absorção molecular ($\lambda=375\text{ nm}$).
Potássio, Cádmio*, Chumbo, Cobre, Crómio, Níquel e Zinco	mg/L *µg/L	<u>Na água pluvial antes e depois de passar pelos substratos:</u> determinação direta por espectrofotometria de absorção atómica. <u>Nos substratos:</u> digestão ácida no micro-ondas com 10 mL de HNO ₃ (65%) ^d , durante 6 minutos a 45 psi, 6 minutos a 90 psi e 10 minutos a 150 psi, seguida pela determinação através da espectrofotometria de absorção atómica.

Nos procedimentos seguidos por cada uma das letras (^a, ^b e ^c), utilizaram-se os seguintes pesos em cada amostra de substrato:

^a $\approx 2,5\text{ g}$ Gaia Soil; $\approx 40,0\text{ g}$ FCG não renovado e renovado.

^b $\approx 5,0\text{ g}$ Gaia Soil; $\approx 25,0\text{ g}$ FCG não renovado e renovado.

^c $\approx 1,0\text{ g}$ Gaia Soil; $\approx 6,0\text{ g}$ FCG não renovado e renovado.

^d $\approx 0,5\text{ g}$ Gaia Soil; $\approx 0,5\text{ g}$ FCG não renovado e renovado.

7.3. Análise Estatística

Na análise estatística dos dados experimentais utilizou-se o programa informático *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS Statistics)*, versão 17, tendo-se recorrido aos seguintes métodos:

- i. Análise de variância unifatorial (ANOVA tipo I), para a avaliação das diferentes determinações experimentais sobre uma única variável controlada (tipo de substrato), tendo como objetivo verificar a existência, ou não, de diferenças significativas globais entre as médias dos diversos testes laboratoriais para um nível de significância de 5% ($p - value \leq 0,05$).
- ii. Teste Tukey - HSD (*Honestly Significant Difference*), a fim de fazer múltiplas comparações de pares de amostras, de forma a identificar quais das médias são significativamente diferentes entre si.

8. Resultados e Discussão

8.1. Propriedades Físicas dos Substratos

8.1.1. Teor de Matéria Orgânica e Inorgânica

O substrato de uma cobertura ajardinada resulta de uma mistura de materiais pré-selecionados, de forma a dar resposta aos objetivos do projeto (p.e. manutenção de águas pluviais) sem comprometer a desempenho da cobertura (p.e. ser leve e ter boa drenagem) (GRHC, 2008). A capacidade do substrato preencher todos estes requisitos depende da correta escolha de matérias-primas que, no contexto do regime de manutenção, devem ser estáveis e satisfazer as necessidades nutritivas das plantas ao longo do tempo de vida útil da cobertura. Apesar das múltiplas combinações possíveis, todos os substratos apresentam na sua constituição matéria orgânica, matéria inorgânica, água e ar.

A matéria orgânica é constituída por compostos de carbono que, devido à atividade microbiológica, vai sofrendo alterações ao longo do tempo. Este componente contribui para: a capacidade de troca catiónica (fornecendo nutrientes às plantas), a retenção e movimento de água, a estabilidade de agregação do substrato, a atividade biológica saudável do substrato e o sequestro de carbono (DCA, 2006b). Pelo contrário, a ausência de carbono na constituição da matéria inorgânica (ou mineral), faz com que esta não seja reativa e, como tal, é a fração do substrato mais estável, mantendo as suas propriedades ao longo do tempo. Esta permite o suporte da vegetação, fornece nutrientes minerais às plantas e, devido à

formação dos poros, possibilita o armazenamento de ar, água e de trocas de gasosas (GRHC, 2008).

Numa cobertura ajardinada, o teor de matéria orgânica deverá ser sempre inferior ao teor de matéria inorgânica, verificando-se essa condição em qualquer uma das amostras (Figura 29). Embora essa diferença seja extremamente elevada para ambos os substratos da FCG, cujos teores de matéria orgânica se encontram inseridos na gama de valores aconselhados para coberturas intensivas (5 – 20 %), o mesmo não acontece com o Gaia Soil. Observando a Figura 29, no Gaia Soil o teor de matéria orgânica foi extremamente elevado.

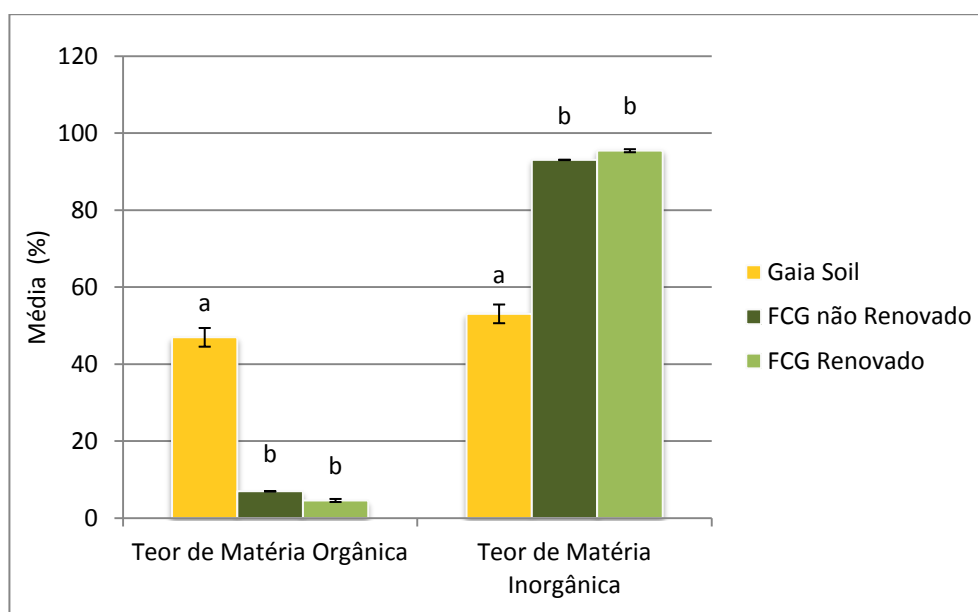


Figura 29 - Relação entre o teor de matéria orgânica e inorgânica de cada substrato. As barras de erro representam o desvio padrão e as diferentes letras entre cada parâmetro avaliado indicam diferenças significativas entre os substratos ($p \leq 0,05$).

Uma vez que o teor de matéria orgânica e inorgânica são interdependentes, variando somente de acordo com a diferença de peso entre as amostras secas e as amostras calcinadas, o teor de matéria orgânica será tanto maior quanto menor for o teor de matéria inorgânica. O facto do Gaia Soil apresentar teores de matéria orgânica e inorgânica muito próximos entre si (aproximadamente 47% e 53%, respetivamente) está relacionado com a perda de amostra associada ao poliestireno expandido.

O Gaia Soil é um substrato constituído essencialmente por espuma reciclada de poliestireno expandido (EPS ou esferovite) e húmus (GaiaSoil). Dado que, a volatilização do EPS ocorre entre os 400 – 420 °C (Liu, *et al.*, 2007) e que a temperatura na mufla, para a determinação de cada um destes parâmetros foi de ≈ 550 °C (Quadro 6), houve perda de material inorgânico; levando, consequentemente, à sobrestimação do teor orgânico e à subestimação do teor inorgânico da amostra de substrato utilizado na cobertura ajardinada de Filadélfia.

8.1.2. Teor de Humidade

O teor de humidade do substrato não é mais do que a quantidade de água que este contém nos espaços intersticiais. Esta é essencial ao desenvolvimento das plantas e ao comportamento físico do substrato. A água, atua como solvente de nutrientes para as plantas (sendo mais importante para o desenvolvimento da vegetação do que os próprios nutrientes), controla a temperatura do substrato, é necessária para as reações metabólicas dos microrganismos e regula as atividades químicas e biológicas do substrato (DCA, 2006a).

Neste estudo, verifica-se que o teor de humidade presente nas amostras depende significativamente ($p \leq 0,05$) do tipo de substrato utilizado. De acordo com a Figura 30, é possível observar que os substratos com maior e menor teor de humidade são, o Gaia Soil e o da FCG renovado, respetivamente.

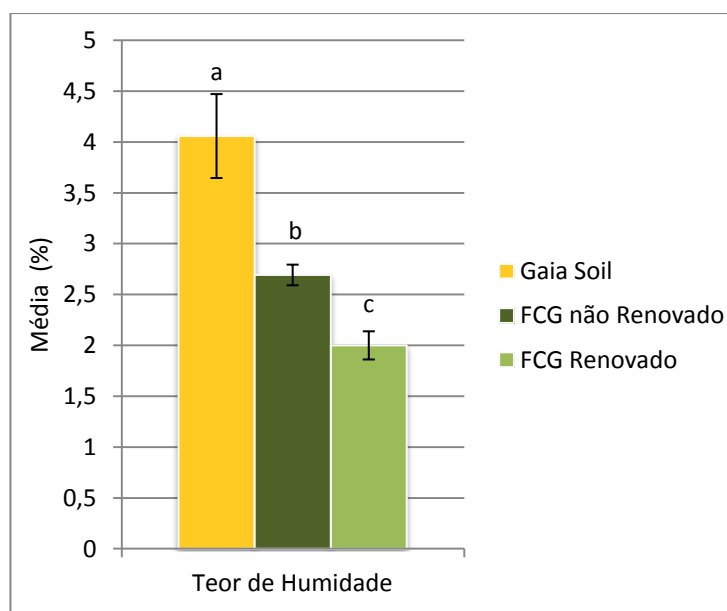


Figura 30 - Teor de água presente em cada substrato. As barras de erro representam o desvio padrão e as diferentes letras indicam diferenças significativas entre os substratos ($p \leq 0,05$).

Apesar da variabilidade entre o teor de água de cada substrato, existe uma maior proximidade entre os dois substratos da FCG (renovado e não renovado), sendo a diferença entre os substratos Gaia Soil e FCG não renovado praticamente o dobro da diferença existente entre os dois substratos da FCG. Uma vez que, a água capilar é essencial ao desenvolvimento das plantas, pois fica retida nas partículas do substrato contrariando a força da gravidade, pode-se inferir que o substrato Gaia Soil terá menores necessidades de irrigação, seguindo-se o substrato da FCG não renovado e, por último, o substrato da FCG renovado.

8.1.3. Densidade Aparente e na Saturação

Uma das principais características do substrato de uma cobertura ajardinada, visto que é implementada sobre uma laje com determinada capacidade de carga e, geralmente, acima da cota de soleira, é ser leve. Não obstante, o substrato deve ser capaz de suportar a vegetação e, ao mesmo tempo, reter parte da água da chuva e da água de rega para posterior utilização das plantas. Ao projetar uma cobertura ajardinada, mais importante do que ter em consideração o peso do substrato seco, é ter consciência do seu peso quando totalmente saturado. Em Portugal, este fator poderá não ter grande importância nos meses de seca, mas terá um grande impacto nos meses de Outubro a Abril, caracterizados por períodos de chuva com forte intensidade (CML, 2010), podendo comprometer toda a estrutura do edifício caso tal não seja contabilizado.

Na Figura 31 é possível observar que a densidade aparente varia significativamente ($p \leq 0,05$) de acordo com o tipo de substrato, dos quais o da FCG renovado é o mais pesado. Embora a densidade aparente do substrato da FCG não renovado seja um pouco superior à inicialmente pretendida (1.000 kg/m^3), a densidade do substrato que foi renovado ultrapassa consideravelmente esse valor. Ainda que, esta diferença possa não constituir um risco para a estrutura do edifício, dado que deve existir sempre um intervalo de segurança relativamente à carga capaz de ser suportada pela cobertura, é necessário ter alguma precaução em futuras renovações do substrato.

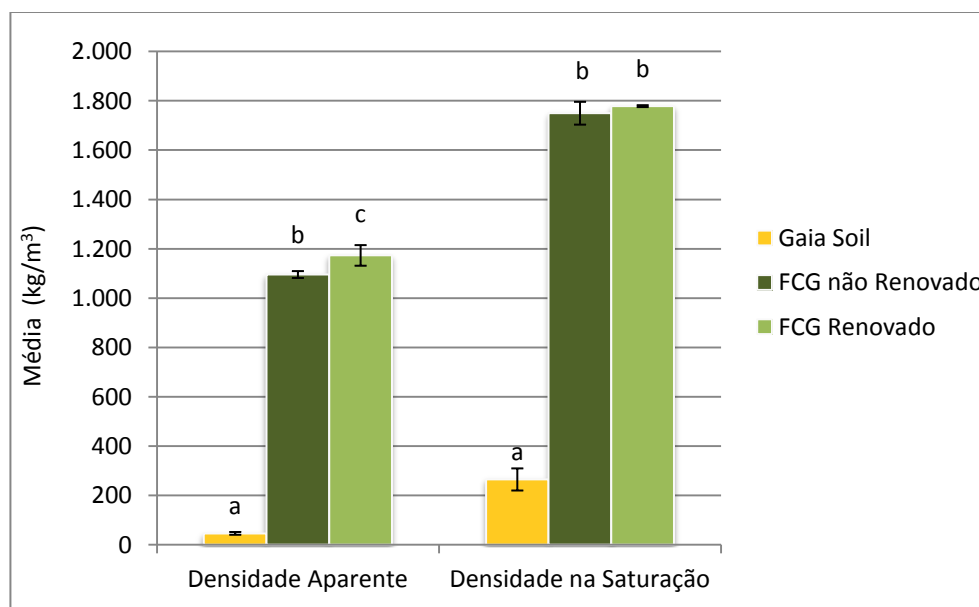


Figura 31 - Relação entre a densidade aparente de cada substrato e respetiva densidade quando saturados. As barras de erro representam o desvio padrão e as diferentes letras entre cada parâmetro avaliado indicam diferenças significativas entre os substratos ($p \leq 0,05$).

Analisando a diferença entre os dois substratos utilizados na FCG e o substrato utilizado na cobertura ajardinada de Filadélfia, verifica-se que este último é, aproximadamente, 95,8% e 96,1% mais leve do que os substratos da FCG não renovado e renovado, respetivamente (Figura 31). Esta característica é extremamente importante, uma vez que poderá ter um carácter deliberativo na tomada de decisão da instalação, ou não, de uma cobertura ajardinada sobre uma estrutura que não suporte grandes cargas.

Avaliando a densidade dos substratos quando saturados verifica-se que, neste caso, ao contrário da análise realizada anteriormente, os dois substratos utilizados na FCG não são significativamente diferentes entre si ($p \leq 0,05$). Este fator é muito importante do ponto de vista das cargas, dado que, apesar da densidade aparente do substrato da FCG renovado ultrapassar o valor desejado, quando saturado não apresenta diferenças significativas em relação ao substrato original do projeto. Deste modo, depreende-se que o substrato da FCG renovado não constitui um risco para a estrutura da fundação. Contudo, indica também que o substrato renovado não é tão eficiente quanto o substrato original no que se refere à capacidade de retenção de água.

O Gaia Soil, quando saturado, continua a ser bastante mais leve, sendo cerca de 85% menos denso do que os substratos da FCG, atingindo em média 265 kg/m^3 . Neste caso, pode-se inferir que a força aplicada à estrutura de uma edificação que utilize o Gaia Soil será muito menor, quer quando seco quer quando saturado, comparativamente com ambos os substratos da FCG.

Por último, é de salientar que qualquer um dos substratos apresenta uma grande diferença de peso quando seco e quando saturado, o que demonstra o quão importante é ter em conta a carga exercida por uma cobertura ajardinada sobre a estrutura de um edifício durante a fase de planeamento do projeto, devendo-se avaliar todas as suas vertentes (p.e. peso da água, peso da vegetação, força exercida pelo vento, etc.).

8.1.4. Capacidade de Retenção de Água

Numa cobertura ajardinada, o substrato é o componente com maior capacidade de retenção de água (GRHC, 2008). Este fator é extremamente relevante numa perspetiva de manutenção de águas pluviais, dado que, quanto maior for a capacidade de retenção de água, maior será a quantidade de água da chuva capaz de ser absorvida pela cobertura, diminuindo o escoamento de água nos sistemas de drenagem urbanos. Esta característica influencia também a frequência de rega da cobertura, uma vez que, quanto maior for a capacidade de retenção do substrato, menor será a necessidade de irrigação.

Numa análise à capacidade média de retenção de água de cada substrato, verifica-se que existe uma diferença significativa entre eles ($p \leq 0,05$), dos quais o Gaia Soil apresenta os maiores níveis de absorção, seguindo-se o substrato não renovado da FCG (Figura 32).

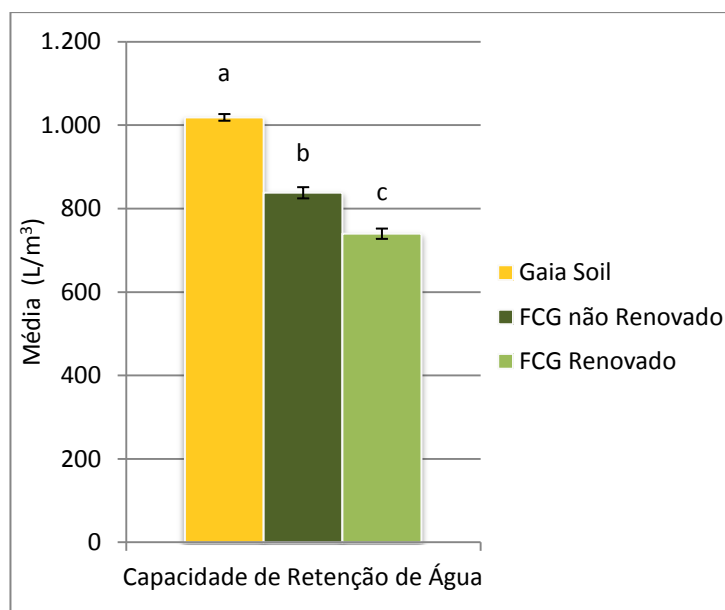


Figura 32 - Capacidade de retenção de água de cada substrato. As barras de erro representam o desvio padrão e as diferentes letras indicam diferenças significativas entre os substratos ($p \leq 0,05$).

Comparando a capacidade de absorção de cada substrato, o Gaia Soil consegue reter cerca de 83% do seu peso em água e os substratos da FCG não renovado e renovado, aproximadamente 37% e 34%, respetivamente. Deste modo, deduz-se que o Gaia Soil permitirá diminuir a frequência de rega nos períodos mais secos, bem como obter melhores resultados no que se refere à manutenção de águas pluviais, retendo em média 1.019 L/m³ água, aproximadamente 18% mais do que o substrato não renovado e 27% mais do que o substrato renovado.

Na eventualidade de ocorrer um aguaceiro muito forte, p.e. de 70 mm/h durante 4 horas, dada a capacidade de retenção de cada substrato, prevê-se que uma cobertura ajardinada, com 30 cm de profundidade de substrato Gaia Soil consiga reter toda a precipitação, enquanto que uma cobertura composta pelo substrato não renovado da FCG e outra pelo renovado retêm cerca de 89% e 74%, respetivamente; impedindo que grande parte da precipitação chegue até aos sistemas de drenagem de águas pluviais.

Neste estudo, obtiveram-se valores de retenção de água semelhantes aos de Carter *et al.*, 2006, onde se observou em média uma redução de 78% da água escoada numa cobertura extensiva, durante um período de 13 meses, e cujos valores limites variaram entre 39% a 100%. Enquanto que, segundo Gregoire, *et al.* (2011) um sistema de cobertura modular extensiva permitiu reter 51,4% da precipitação total.

Numa perspetiva global, observa-se que, apesar das diferenças significativas entre as amostras estudadas, existe um certo paralelismo entre as características físicas dos substratos da FCG e um afastamento destes com o substrato utilizado na cobertura ajardinada de Filadélfia (Gaia Soil), dado que, em comparação com este último, os resultados obtidos para os dois substratos da FCG encontram-se muito mais próximos entre si.

8.2. Influência dos Substratos na Qualidade da Água Escuada

Com o intuito de analisar a influência dos substratos na qualidade da água da chuva escoada das coberturas ajardinadas, realizaram-se testes laboratoriais para determinar a concentração de nutrientes (N, P e K) e de metais pesados (Cd, Pb, Cu, Cr, Ni e Zn) presentes na água pluvial antes e depois de passar por cada um dos substratos analisados. No Quadro 7 estão apresentados os resultados obtidos.

Quadro 7 - Concentração de nutrientes e de metais pesados presentes na água pluvial antes e após a sua passagem pelas diferentes amostras de substrato, bem como a concentração presente nos respectivos substratos. Em cada coluna, os resultados experimentais seguidos pela mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si ($p \leq 0,05$).

Nutrientes	NO ₃ – N (mg/L)	NH ₄ – N (mg/L)	P ₂ O ₅ - P (mg/L)	K (mg/L)
Input				
Água Pluvial	0,07 ± 0,01 ^a	0,00 ^a	1,04 ± 0,03 ^a	0,03 ^a
Output - Escoado				
Gaia Soil	1,94 ± 0,02 ^b	0,00 ^a	0,85 ± 0,05 ^a	0,41 ± 0,03 ^a
FCG não Renovado	1,10 ± 0,24 ^c	0,00 ^a	1,18 ± 0,10 ^a	0,07 ± 0,01 ^a
FCG Renovado	0,73 ± 0,25 ^c	0,00 ^a	1,39 ± 0,13 ^a	0,27 ± 0,01 ^a
Concentração nos Substratos				
Gaia Soil	1,95 ± 0,42 ^b	2,36 ± 0,22 ^{bc}	3,67 ± 0,04 ^b	199,81 ± 39,92 ^b
FCG não Renovado	2,48 ± 0,21 ^b	2,60 ± 0,07 ^b	1,08 ± 0,14 ^a	112,58 ± 6,70 ^c
FCG Renovado	0,55 ± 0,09 ^{ac}	2,20 ± 0,04 ^c	3,23 ± 0,59 ^b	65,72 ± 6,73 ^d

Metais	Cd (µg/L)	Pb (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Ni (mg/L)	Zn (mg/L)
Input						
Água Pluvial	0,30 ^a	≤ 0,05 ^{a*}	-	-	-	-
Output - Escoado						
Gaia Soil	2,40 ± 0,29 ^a	0,07 ± 0,01 ^a	≤ 0,01 ^{a*}	≤ 0,05 ^{a*}	≤ 0,05 ^{a*}	≤ 0,01 ^{a*}
FCG não Renovado	0,01 ^a	0,10 ± 0,03 ^a	≤ 0,01 ^{a*}	≤ 0,05 ^{a*}	≤ 0,05 ^{a*}	≤ 0,01 ^{a*}
FCG Renovado	1,53 ± 0,21 ^a	≤ 0,05 ^{a*}	≤ 0,01 ^{a*}	≤ 0,05 ^{a*}	≤ 0,05 ^{a*}	≤ 0,01 ^{a*}
Concentração nos Substratos						
Gaia Soil	302,02 ± 64,82 ^b	7,15 ± 1,38 ^b	2,68 ± 0,07 ^b	9,16 ± 0,59 ^b	12,18 ± 2,84 ^b	9,00 ± 0,88 ^b
FCG não Renovado	55,80 ± 2,78 ^{ac}	38,28 ± 2,60 ^c	2,62 ± 0,35 ^b	23,02 ± 0,52 ^c	53,79 ± 3,78 ^c	10,95 ± 0,34 ^c
FCG Renovado	83,72 ± 8,56 ^c	≤ 0,05 ^{a*}	2,58 ± 0,94 ^b	13,36 ± 2,16 ^d	29,50 ± 2,44 ^d	2,73 ± 0,26 ^d

Os valores assinalados por (*) encontram-se abaixo do limite de deteção.

Neste estudo, deve-se ainda destacar que, devido à falta de amostra, não foi possível determinar as concentrações de Cu, Cr, Ni e Zn presente na água pluvial.

8.2.1. Azoto

O azoto é um elemento indispensável às plantas, sobretudo na fase de crescimento, uma vez que estimula o desenvolvimento vegetativo, facilitando a formação de raízes, ramificações e folhas (Marschner, 2012). Em excesso, provoca um crescimento excessivo da vegetação, bem como aumenta o risco de doenças nas plantas (Marschner, 2012).

Analisando o Quadro 7, os resultados indicam que todos os substratos permitem uma grande libertação de azoto nítrico ($\text{NO}_3 - \text{N}$), sendo a lixiviação a partir do Gaia Soil significativamente superior ($p \leq 0,05$) à observada nos substratos da FCG, manifestando concentrações 96% mais elevadas do que na água da chuva. Em contrapartida, o azoto amoniacal ($\text{NH}_4 - \text{N}$), que é também solúvel em água, embora não estivesse presente na água da chuva, também não foi lixiviado, indicando que o $\text{NH}_4 - \text{N}$ existente nos três substratos continua disponível para as plantas, diminuindo as necessidades de fertilização.

Ao contrário dos resultados obtidos neste estudo, Ahmed (2011) verificou uma grande redução de $\text{NO}_3 - \text{N}$ na água escoada, em média 20 vezes inferior à da água da chuva. E, segundo Berndtsson, *et al.* (2009) tanto as coberturas extensivas como as intensivas, contribuíram de forma substancial para a redução de $\text{NO}_3 - \text{N}$ e $\text{NH}_4 - \text{N}$ na água escoada.

De acordo com o estudo realizado por Gregoire, *et al.* (2011) o aumento de $\text{NO}_3 - \text{N}$ na água escoada, em comparação com a concentração presente inicialmente na água da chuva, pode estar associado à fertilização, à deposição seca e ao tipo de substratos.

É ainda possível observar que, após a passagem da água da chuva, praticamente todo o $\text{NO}_3 - \text{N}$ presente nos substratos mais recentes (Gaia Soil e FCG renovado) é lixiviado, não se verificando o mesmo no caso do substrato da FCG não renovado. Tal poderá estar relacionado com a idade dos substratos, dado que, estudos anteriores revelam que para além da fertilização ter um grande impacto na lixiviação de nutrientes, nas coberturas instaladas há menos tempo, como os substratos ainda não estão estabilizados, o escoamento de nutrientes poderá ser mais elevado (Emilsson, *et al.*, 2007). Deste modo, apesar da concentração de $\text{NO}_3 - \text{N}$ escoado a partir do substrato da FCG não renovado ser 34% superior à do renovado, parte do $\text{NO}_3 - \text{N}$ mantém-se presente no primeiro substrato, ao contrário do segundo, em que praticamente todo o $\text{NO}_3 - \text{N}$ é lixiviado.

8.2.2. Fósforo

O fósforo (P), é um nutriente mineral que favorece a maturação da vegetação, tornando-a mais robusta, estimulando positivamente o seu enraizamento e aumentando a resistência às doenças (Marschner, 2012). Em excesso, causa irregularidades no crescimento das plantas, provocando obstruções metabólicas e impedindo a absorção de oligoelementos como ferro e o cobre (Marschner, 2012).

De acordo com os resultados apresentados no Quadro 7, embora não existam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre o *input* e o *output*, observou-se a liberação de fósforo em ambos os substratos da FCG, ao contrário do Gaia Soil, onde parte daquele que estava presente na água da chuva, ficou retido. De entre os dois substratos da FCG, o renovado foi aquele em que se verificou maior lixiviação, variando entre 1,25 e 1,51 mg/L. Tal como no azoto, a fertilização e a presença de fósforo nos dois substratos da FCG são as causas mais prováveis para o aumento da concentração deste nutriente na água escoada a partir destes substratos (Berndtsson, *et al.*, 2009). Em contrapartida, o Gaia Soil, que não foi fertilizado, reteve este mineral.

Num estudo elaborado por Gregoire, *et al.* (2011) os resultados indicam que, em média, a concentração de P na água da chuva era 91% inferior à da água escoada, valor esse consideravelmente superior ao observado neste trabalho, onde a concentração de P lixiviado a partir dos substratos renovado e não renovado, em comparação com a água da chuva, era respetivamente 13,5% e 26%. No entanto, Berndtsson, *et al.* (2009) constataram que, apesar do P ter sido libertado a partir de uma cobertura extensiva, o mesmo ficou retido nas coberturas intensivas.

Avaliando a concentração de fósforo presente em cada substrato, verificou-se que, embora o Gaia Soil não tenha sido adubado, era o substrato com maior concentração de fósforo, variando entre 3,62 e 3,69 mg/L, deduzindo-se que este advenha essencialmente a partir do húmus que dele faz parte. Este fator, associado à retenção de parte do P contido na água da chuva, apresenta-se como uma vantagem, pois diminui as necessidades de fertilização, continuando disponível para as plantas.

8.2.3. Potássio

O potássio favorece a multiplicação celular e aumenta a consistência e dureza dos tecidos, sendo responsável pela formação de tecidos mais resistentes à seca e às geadas (Marschner, 2012). Este nutriente em excesso, provoca atrasos no crescimento da vegetação (Marschner, 2012).

Observando o Quadro 7, verifica-se que, em comparação com a concentração presente na água pluvial, houve lixiviação de potássio (K) a partir de todos os substratos. Embora não haja diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as concentrações escoadas a partir dos três substratos e a concentração presente na água da chuva, o Gaia Soil permitiu uma maior libertação de K, em média 14 vezes mais do que na água pluvial, variando entre 0,38 e 0,43 mg/L. No entanto, é também o substrato com maiores concentrações de potássio na sua constituição. Esta concentração elevada de K, num substrato que não foi fertilizado, poderá estar associado ao húmus que o constitui (Berndtsson, *et al.*, 2009), evidenciando, como tal, menores necessidades de fertilização.

Neste estudo, obtiveram-se resultados intermédios relativamente aos observados por Ahmed (2011) onde a libertação de K foi 10 - 20 vezes superior à da água pluvial. Berndtsson, *et al.* (2009) também constataram que, em comparação com a precipitação, a concentração de K era 7 vezes superior na água escoada.

Avaliando a presença de potássio nos substratos da FCG com a quantidade que foi escoada, verifica-se que, o substrato renovado, embora tenha menores concentrações de K do que o não renovado, lixiviou aproximadamente quatro vezes mais do que este último. À semelhança da avaliação do $\text{NO}_3 - \text{N}$, este facto evidencia que à medida que os substratos vão estabilizando, menores vão sendo as concentrações de nutrientes lixiviadas (Emilsson, *et al.*, 2007).

É importante referir que, apesar de se verificar a lixiviação de nutrientes em quase todos os substratos, superiores às concentrações presentes na água da chuva, com exceção do $\text{NO}_3 - \text{N}$, não houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre o *input* e o *output*.

8.2.4. Metais Pesados

Os resultados expostos no Quadro 7 indicam que não existem diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as águas escoadas a partir dos três substratos, sendo que, o substrato não renovado da FCG reteve praticamente toda a concentração de cádmio (Cd) presente na água da chuva, ao contrário do Gaia Soil e do substrato renovado, onde houve uma libertação deste elemento. A água escoada a partir do Gaia Soil, obteve maiores concentrações de Cd, variando entre 2,09 e 2,65 $\mu\text{g/L}$. Ainda que, não existam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre o *input* e o *output*, trata-se de um aumento considerável na concentração da água escoada (em média oito vezes mais do que na água pluvial), que estará possivelmente relacionado com a constituição do substrato, devido ao poliestireno expandido (EPS). O EPS, é uma substância termoplástica, que pode ser derretida repetidas vezes de forma a obter

novos formatos, sendo por isso altamente reciclável (FHR, 2009). Segundo a EPA (1998), o cádmio é um dos compostos presentes no EPS e, como tal, esta será provavelmente a principal fonte de Cd presente na água escoada. No substrato renovado da FCG, a deposição seca e a fertilização, poderão ser os principais responsáveis na lixiviação de cádmio (Gregoire, *et al.*, 2011). Em contrapartida, o substrato não renovado, como é um substrato mais velho e, por isso, mais estável, reteve praticamente toda a concentração deste metal presente na água pluvial (Emilsson, *et al.*, 2007).

O chumbo (Pb), não foi detetado na água da chuva nem na água escoada a partir do substrato renovado da FCG, mas foi lixiviado a partir dos outros dois substratos. Apesar de não se verificarem diferenças significativas entre estes ($p \leq 0,05$), no substrato não renovado, observou-se uma maior concentração de chumbo na água escoada, entre 0,08 e 0,14 mg/L, podendo a deposição seca e a fertilização estarem na base do problema (Gregoire, *et al.*, 2011). Dado que é o substrato instalado há mais tempo numa cobertura ajardinada, foi o que esteve mais exposto à poluição atmosférica, sendo possivelmente por isso o substrato com maior concentração de Pb na sua constituição. No que se refere à libertação de chumbo a partir do Gaia Soil, uma vez que este não foi fertilizado e apresenta na sua constituição 5,83 a 8,58 mg/L deste elemento, pressupõe-se que o EPS seja o principal responsável pelo aumento de concentração de Pb na água escoada. Relativamente ao substrato renovado da FCG, embora tivesse sido colocado na cobertura há cerca de um ano, a concentração de Pb na sua constituição estava abaixo do limite de deteção ($\leq 0,05$ mg/L), o que, em comparação com a concentração presente no substrato não renovado, indica que a deposição seca de chumbo é realizada de forma lenta e gradual ao longo do tempo de vida da cobertura ajardinada.

Embora não se tenha detectado a presença de cobre (Cu), crómio (Cr), níquel (Ni) e zinco (Zn) na água drenada a partir dos três substratos, não é possível retirar conclusões relativamente à melhoria da qualidade da água pluvial, dado que, por falta de amostra não foi possível determinar a concentração na mesma. Não obstante, observando a qualidade das amostras de água da chuva obtidas quer para os nutrientes, quer para os metais pesados que foram possíveis determinar, e tendo em conta o local de onde esta foi recolhida (38°42'17.01"N e 9°16'54.25"O) (ver Anexo), caracterizado por apresentar um alto nível de vegetação e tráfego reduzido, pressupõe-se que também não fosse possível detetar a presença de Cu, Cr, Ni e Zn na água pluvial. No entanto, é de se destacar que a qualidade da água escoada não é afetada pela presença destes metais nos substratos, uma vez que, nenhum deles foi lixiviado por estes. É possível evidenciar mais uma vez que, o substrato não renovado da FCG, por ser o substrato instalado há mais tempo numa cobertura ajardinada, foi o que esteve mais exposto

à poluição atmosférica, contendo por isso, com exceção do Cu, maiores concentrações de Cr, Ni e Zn, do que qualquer um dos outros substratos.

Segundo Berndtsson, *et al.* (2009), verificou-se a libertação de 0,084 mg/L de Cu numa cobertura extensiva, enquanto que as concentrações de Cd, Cr e Pb encontravam-se abaixo do limite de deteção. Estes observaram ainda, que as coberturas intensivas dissiparam as concentrações de Pb e Zn presentes na água da chuva. De acordo com o estudo realizado por Ahmed (2011), ao contrário do Cd e do Pb, que ficaram retidos na cobertura ajardinada, observou-se a lixiviação de Ni, Cu e Zn, dos quais a concentração de Cu na água escoada foi substancialmente superior à água pluvial. Gregoire, *et al.* (2011) detetaram a libertação de 5 µg/L a 9 µg/L de Cu através da cobertura ajardinada, enquanto que o Zn, o Pb e o Cr foram retidos por esta. Nesse estudo, constatou-se também que não foram encontradas concentrações de Cd acima do limite de deteção (1 µg/L).

9. Conclusão

Neste trabalho foi abordada a influência dos substratos das coberturas ajardinadas na manutenção de águas pluviais, sob uma perspetiva de quantidade e qualidade da água que é escoada através destas estruturas. É frequente encontrarem-se na literatura atual textos sobre o potencial destas coberturas no ambiente urbano. No entanto, a evidência científica sobre os seus benefícios no que se refere à qualidade da água escoada, ainda é insuficiente. É recorrente constatarem-se resultados pouco semelhantes, ou até mesmo contraditórios, em diversos estudos científicos, podendo as diferentes condições de estudo, aliadas às diferentes coberturas e ao curto período de investigação, estar na base destas divergências.

Ainda que se encontrem resultados distintos para o potencial de retenção de águas pluviais a partir das coberturas ajardinadas, avaliando numa perspetiva global a quantidade de água que pode ser desviada dos sistemas de drenagem, estas estruturas são sem dúvida uma das melhores práticas de gestão e, por isso, devem ser incluídas na fase de planeamento urbano. Neste trabalho, o substrato utilizado na cobertura ajardinada moderna, o Gaia Soil, foi o que obteve melhores resultados, podendo reter cerca de 1.019 L/m³ de água, 18% e 27% mais do que os substratos não renovado e renovado, respetivamente, utilizados na cobertura ajardinada clássica da FCG. Não obstante, qualquer um dos substratos evita que uma grande quantidade de água chegue até aos sistemas de drenagem.

O Gaia Soil, apresenta outra grande vantagem relativamente aos substratos utilizados na FCG, dado que o seu peso quando saturado é, aproximadamente, 84% inferior a estes. Este parâmetro é extremamente importante, pois muitas das estruturas, sobretudo reabilitações,

podem não aguentar com uma carga tão elevada quanto aquela que é exercida sobre os edifícios e sobre o parque de estacionamento da FCG, não permitindo, neste caso, a implementação de coberturas ajardinadas. Apesar disso, este substrato mais leve, ao contrário dos substratos da FCG, não possibilita a colocação de árvores, e estas contribuem de forma significativa para a retenção de águas pluviais, não só através da água de que necessitam naturalmente, como através da evapotranspiração. Contudo, tendo em conta que Portugal é caracterizado por longos períodos de seca e que a manutenção de árvores é extremamente exigente em água, o Gaia Soil, no que se refere à gestão de águas pluviais, será uma opção mais atrativa do que qualquer um dos substratos da FCG. No entanto, é de se notar que, este substrato devido à presença de EPS na sua constituição, não será o mais indicado para uma cobertura ajardinada, uma vez que a água lixiviada a partir deste apresentou concentrações de cádmio bastante elevadas (Quadro 7).

Para além disso, a integração destas coberturas com os sistemas de armazenamento de águas pluviais, são uma excelente proposta de aproveitamento da água da chuva. Com a aplicação destas medidas, quer seja a reutilização das águas pluviais para a rega da cobertura, quer seja a depuração das águas cinzentas através da vegetação da cobertura ajardinada (como no sistema GROW), permitem ao proprietário não só uma poupança económica a longo prazo, como também residir ou trabalhar num meio sustentável, valores esses cada vez mais prezados no ambiente urbano.

Deste modo, é necessário ter em conta que, todo o sistema de cobertura ajardinada contribui para a manutenção de águas pluviais (*ver secção 4.1.3*), como tal, quando se pretende estimar o impacto que uma cobertura terá sobre este benefício, deve-se ter em consideração toda a sua estrutura (nomeadamente, o tipo de vegetação, a percentagem que é coberta, o declive, a integração com os SAAP, etc.). Todavia, uma vez que estas coberturas podem ser potencialmente benéficas em diversos sectores do meio urbano, as decisões sobre a disposição e estrutura do projeto deverão ser tomadas após a apreciação global de um conjunto de benefícios, em vez de serem baseadas num único benefício em particular.

Relativamente à qualidade da água, torna-se evidente que a composição do substrato (p.e. húmus), bem como o tipo e quantidade de fertilizantes aplicados nas coberturas ajardinadas, são os principais responsáveis pelo aumento de concentração de nutrientes na água escoada. Os possíveis efeitos negativos resultantes da fertilização não devem ser considerados de forma leviana, dado que podem contaminar os meios hídricos recetores, devendo-se evitar a aplicação de fertilizantes em excesso e, de preferência, de libertação lenta. No Gaia Soil, a concentração de metais pesados na água escoada, é influenciada sobretudo pelo tipo de substrato, dado que a matéria inorgânica é constituída essencialmente por poliestireno

expandido, enquanto que nos substratos da FCG, esta encontra-se principalmente relacionada com a deposição seca dos contaminantes presentes na atmosfera.

Comparativamente à água pluvial, observou-se um aumento de concentração de $\text{NO}_3 - \text{N}$ e de K na água escoada a partir dos três substratos, não sendo detetadas as concentrações de $\text{NH}_4 - \text{N}$, Cu , Cr , Ni e Zn . O Gaia Soil dissipou a concentração de $\text{P}_2\text{O}_5 - \text{P}$ presente na água da chuva, mas permitiu a libertação de Cd e Pb . O substrato não renovado da FCG permitiu a lixiviação de $\text{P}_2\text{O}_5 - \text{P}$ e Pb , embora o Cd tenha sido retido por este. No substrato renovado, o Pb encontrava-se abaixo do limite de deteção, mas verificou-se um aumento de concentração de $\text{P}_2\text{O}_5 - \text{P}$ e Cd na água escoada.

Dada a discrepância de resultados obtidos para a qualidade da água escoada, este estudo indica, claramente, que são necessárias mais pesquisas, bem como aumentar o número e tamanho das amostras. Ao contrário do que foi efetuado, é também fundamental que os ensaios experimentais sejam o mais possível aproximados à realidade, uma vez que a análise de um sistema de cobertura é mais significativa do que a análise de um elemento só. Será igualmente interessante analisar a água escoada a partir de uma cobertura convencional, confrontando os resultados obtidos com os de uma cobertura ajardinada, averiguando as diferenças entre elas. Por último, tem-se observado uma evolução das técnicas e materiais utilizados nas coberturas ajardinadas, permitindo que haja, atualmente, uma transição da implementação de coberturas clássicas para coberturas modernas, tornando-as mais eficientes num conjunto de fatores que potenciam os seus benefícios e, ao mesmo tempo, facilitando a sua aplicação. Os substratos não são exceção, sendo cada vez mais leves e retendo cada vez mais água, mas ainda devem ser melhorados, no sentido de reduzir ao máximo os impactes negativos na qualidade da água escoada.

Referências Bibliográficas

ADP. ETAR de Alcântara, Lisboa. *Águas de Portugal*. [Online] ADP. [Citação: 09 de Outubro de 2012.] <http://www.adp.pt/content/index.php?action=detailfo&rec=2863&t=ETAR-de-Alcantara--Lisboa>.

Ahmed, Naeem. 2011. *Runoff Water Quality from a Green Roof and in an Open Strom Water System*. Suécia : Divison of Water Resources Engineering, Department of Building and Environmental Technology of Lund University.

Alcoforado, M.J., et al. 2005. *Orientações Climáticas para o Ordenamento em Lisboa*. Lisboa : Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa. 972-636-165-6.

Bass, Brad. 2007. *Green Roofs and Green Walls: Potencial Energy Savings in the Winter*. Toronto, Canada : s.n..

Berndtsson, Justyna Czemieli. 2010. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*. Vol. 36, pp. 351-360.

Berndtsson, Justyna Czemieli, Bengtsson, Lars e Jinno, Kenji. 2009. Runoff Water Quality from Intensive and Extensive Vegetated Roofs. *Ecological Engineering*. 35, pp. 369 - 380.

Borland, Anne M., et al. 2009. Exploiting the Potential of Plants with Crassulacean Acid Metabolism fo Bioenergy production on Marginal Lands. *Journal of Experimental Botany*.

Bousse, Yannick. 2009. *Mitigating the urban heat island effect with an intensive green roof during summer in Reading, UK*. Reading : University of Reading.

Breuning, J. 2007. Frie & Wind on Extensive Green Roofs. *The Green Roof Infrastructure Monitor*. Vols. 9, No. 1.

Cantor, Steven L. 2008. *Green Roofs In Sustainable Landscape Design*. New York; USA : Norton & Company.

Carter, Timothy L. e Rasmussen, Todd C. 2006. Hidrologic Behavior of Vegetated Roofs. *Jornal of the American Water Resources Association*. American Water Resources, Vol. 05090, pp. 1261 - 1274.

CIRIA. Building Greener - Design & Construction. *Construction Industry Research and Information Association*. [Online] [Citação: 27 de Dezembro de 2011.] http://www.ciria.org.uk/buildinggreener/gr_design_construction.htm.

Clark, C., Adriaens, P. e Talbot, F. 2007. *Green Roof Valuation: A Probabilistic Economic Analysis of Environmental Benefits*. Michigan, USA : University of Michigan.

CML. 2010. Relatório Síntese de Caracterização Biofísica de Lisboa no âmbito da Revisão do Plano Director Municipal de Lisboa. *Revisão PDM de Lisboa*.

Connelly, M. e Liu, K. 2007. Extensive Green Roof Performance in the BC Rainforest: British Columbia Institute of Technology. www.greenroof.bcit.ca. [Online]. http://commons.bcit.ca/greenroof/download/bc_rainforest.pdf.

Contreras, E. 2012. Vantagens Ambientais e Económicas das Coberturas Ajardinadas e a sua Caracterização. Porto : Jornada Internacional de Coberturas Ajardinadas.

Costa, L. 2010. *Espaços Verdes Sobre Cobertura - Uma Abordagem Estética e Ética*. Lisboa : Instituto Superior de Agronomia - UTL.

Currie, B. e Bass, B. 2005. Estimates of Air Pollution Mitigation With Green Plants and Green Roofs Using the UFORE Model. *Urban Ecosystems*. Vol. 11, 4. Proceedings of Third Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference.

DCA. 2006a. *A Água do Solo*. Lisboa : Departamento de Ciências do Ambiente do Instituto Superior de Agronomia.

DCA. 2006b. *Fraccionamento da Matéria Orgânica do Solo*. Lisboa : Departamento de Ciências do Ambiente do Instituto Superior de Agronomia.

Deutsch, B., et al. 2005. *Re-Greening Washington, DC: A Green Roof Vision Based on Quantifying Storm Water and Air Quality Benefits*. Washington, D.C. : Casey Trees Endowment Fund & Limno-Tech, Inc..

Duarte, A., et al. 2006. *Cheias Rápidas em Áreas Urbanas e sua Percepção: O Caso da Bacia da R^a de Odivelas*. Lisboa : Faculdade de Letras de Lisboa.

Dunnett, Nigel e Kingsbury, Noël. 2008. *Planting Green Roofs and Living Walls*. London, UK : Timber Press, 2008. 978-0-88192-911-9.

Earth Pledge. 2005. *Green Roofs: Ecological Design and Construction*. Atglen, USA : Schiffer Books. 0-7643-2189-7.

EC. 2007. Living Close to Power Lines may Increase the Risk of Some Cancers. *Science for Environmental Policy - DG Environment News Alert Service*. s.l. : European Commission.

EEA. 2005. *Vulnerability and Adaptation to Climate Change in Europe*. Luxembourg : European Environment Agency. Technical Report No. 7. 92-9167-814-7.

Emilsson, Tobias, et al. 2007. Effect of Using Conventional and Controlled Release Fertilizer on Nutrient Runoff from Various Vegetated Roof Systems. *Ecological Engineering*. 29, pp. 260 - 271.

EPA. 1998. *Demonstration of Packaging Materials Alternatives to Expanded Polystyrene*. Washington, DC, USA : United States Environmental Protection Agency.

ETAP. 2006. *A Sewage Plant on the Roof*. s.l. : European Comission - Environmental Technologies Action Plan.

FCG. História e Missão. *Fundação Calouste Gulbenkian*. [Online] [Citação: 2012 de Abril de 23.] <http://www.gulbenkian.pt/index.php?section=9&artId=22>.

FHR. 2009. *Safety, Health, and Environmental Guidelines for EPS and RMER II*. Illinois, USA : Filnt Hills Resources.

Field, R., et al. 2005. *The Use of Best Management Practices (BMPs) in Urban Watersheds*. Pennsylvania, USA : DEStech Publications, Inc.

Firestone. TPO Roofing. *Firestone - Building Products*. [Online] [Citação: 3 de Janeiro de 2012.] <http://www.epdm.lt/tpo-roofing-systems/>.

Fjeld, T. 2000. The Effect of Interior Planting on Health and Discomfort Among Workers and School Children. *HortTechnology*. January - March.

FLL. 2008. *Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing - Green Roofing Guideline*. Germany : Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL).

GaiaSoil. GaiaSoil for Green Roofs Brochure. *Scribd*. [Online] [Citação: 2 de Julho de 2012.] <http://pt.scribd.com/doc/54528996/GaiaSoil-for-Green-Roofs-Brochure>.

Getter, K., et al. 2009. Carbon Sequestration Potencial of Extensive Green Roofs. *Environ. Sci. Technol.* Vol. 43, pp. 7564-7570.

Greater London Authority. 2006. London's Urban Heat Island: A Summary for Decision Makers. *Mayor of London*.

Greenroofs.com. a. The Green Roofs Projects Database. *Calhoun School Green Roof Learning Center*. [Online] a. [Citação: 23 de Dezembro de 2011.] <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=67>.

Greenroofs.com. b. The Green Roofs Projects Database. *The GAP Headquarters, 901 Cherry*. [Online] b. [Citação: 5 de Março de 2012.] <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=26>.

Greenroofs.com. c. The Green Roofs Projects Database. *Mountain Equipment Co-op (MEC)*. [Online] c. [Citação: 13 de Março de 2012.] <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1057>.

Gregoire, Bruce e Clausen, John C. 2011. Effect of a Modular Extensive Green Roof on Stormwater Runoff and Water Quality. *Ecological Engineering*. 37, pp. 963 - 969.

GRHC. 2006a. *Green Roof Design 101: Introductory Course*. Toronto, Canada : Green Roof for Healthy Cities.

GRHC. 2006b. *Green Roof Infrastructure: Design and Installation 201*. Toronto, Canada : Green Roof for Healthy Cities.

GRHC. 2008. *Green Roof Plants and Growing Media 401*. Toronto, Canada : Green Roof for Healthy Cities.

GRHC. 2007. *Green Roof Waterproofing and Drainage 301*. Toronto, Canada : Green Roof for Healthy Cities.

HCI. Foam Board Insulation Types. *Home Construction & Improvement*. [Online] [Citação: 3 de Janeiro de 2012.] <http://www.homeconstructionimprovement.com/foam-board-insulation-values/>.

Heneine, Maria C. 2008. *Cobertura Verde*. Belo Horizonte : Escola de Engenharia - Universidade Federal das Minas Gerais.

Hodson, M. e Bryant, J. 2012. *Functional Biology of Plants*. UK : Wiley-Blackwell.

IGRA. 2011. Implementing Green Roof Policies. [ed.] International Green Roof Association. *Green Roof News*. 01.

IM. Observatório de Secas - Índice PDSI - Evolução Histórica. *Instituto de Meteorologia, IP*. [Online] [Citação: 15 de Março de 2012.] <http://www.meteo.pt/pt/oclima/observatoriosecas/pdsi/apresentacao/evolu.historica/>.

IM. 2012. *Situação de Seca Meteorológica (Síntese) - 29 Fevereiro*. Lisboa : Ministério da Educação e Ciência - Instituto Meteorológico.

INAG. 2011. *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água - Versão Preliminar*. Lisboa : Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território - Instituto da Água.

INE. 2011a. Censos 2011 - Resultados Provisórios. *Instituto Nacional de Estatística*. [Online] 2011a. [Citação: 12 de Dezembro de 2011.] http://www.ine.pt/scripts/flex_provisorios/Main.html.

INE. 2011b. *Estatísticas do Ambiente - 2010*. Lisboa : Instituto Nacional de Estatística. 978-989-25-0127-7.

Kadas, Gyongyver. 2007. Rare Invertebrates Colonizing Green Roofs in London. *Urban Habitats*. Vol. 4, 1, pp. 66-86.

Kerr Wood Leidal Associates. 2009. *Design Considerations for the Implementation of Green Roofs*. Vancouver, Canada : Greater Vancouver Regional District ("Metro Vancouver").

Krieger, Sebastian. 2004. *Estudos Biometeorológicos do Clima Urbano*. São Paulo : Universidade de São Paulo - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas.

Kuo, F. e Sullivan, W. 2001. Environment and Crime in the Inner City: Does Vegetation Reduce Crime? *Environment and Behavior*. 3, Vol. 33.

Li, J., et al. 2011. Effect of Green Roof on Ambiente CO2 Concentration. *Building and Environment*. 45.

Liu, K. e Baskaran, B. 2003. *Thermal Performance of Green Roof Through Field Evaluation*. Ontario, Canada : National Research Council Canada.

Liu, X.J., Bhavnani, S.H. e Overfelt, R.A. 2007. Simulation of EPS Foam Decomposition in the Lost Foam Casting Process. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 182, pp. 333 - 342.

Luckett, Kelly. 2009. *Green Roof Construction and Maintenance*. USA : McGraw-Hill. 978-0-07-160881-7.

Lusa. 2011. DN Portugal. *Portugal é o Segundo País com Maior Taxa da Doença*. [Online] 30 de Setembro. [Citação: 14 de Fevereiro de 2012.] http://www.dn.pt/inicio/portugal/interior.aspx?content_id=2027915&page=-1.

Lusa. 2010. Público. *Dia Europeu da Depressão - Depressão mata 1200 pessoas por ano em Portugal.* [Online] 01 de Outubro. [Citação: 14 de Fevereiro de 2012.] <http://www.publico.pt/Sociedade/depressao-mata-1200-pessoas-por-ano-em-portugal-1458934>.

Marschner, Petra. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3ª. California. USA : Academic Press. 978-0-12-384905-2.

Martins, L. e Mourato, M. 2009. *Aspectos Energéticos do Metabolismo*. Lisboa : ISA - UTL.

Mentens, J., Raes, D. e Hermy, M. 2006. Green Roofs as a Tool for Solving Rainwater Runoff Problem in the Urbanized 21st Century? *Landscape and Urban Planning*. 77.

Molineux, C., Fentiman, C. e Gange, A. 2009. Characterising Alternative Recycled Waste Materials for Use as Green Roof Growing Media in the U.K. *Ecological Engineering*. 35.

Monteiro, I. 2010. TVI 24. *Baixa de Lisboa Alagada: Carros Submersos e Edifícios Inundados.* [Online] 29 de Outubro. [Citação: 4 de Março de 2012.] <http://www.tvi24.iol.pt/sociedade/mau-tempo-lisboa-cheias-inundacoes-meteorologia-tvi24/1203790-4071.html>.

Moran, A., Hunt, B. e Smith, J. 2005. *Hydrologic and Water Quality Performance From Greenroofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina*. North Carolina, USA : North Carolina State University.

MSU. Green Roof Research Program. *Department of Horticulture*. [Online] Michigan State University. [Citação: 20 de Dezembro de 2011.] <http://www.hrt.msu.edu/greenroof/>.

Munby, Beatrice. 2005. *Feasibility Study for the Retrofitting Of Green Roofs*. Sheffield, UK : University of Sheffield - Department of Civil and Structural Engineering.

NASA. 1998. National Aeronautics and Space Administration. *NASA Science News*. [Online] NASA. [Citação: 08 de Fevereiro de 2012.] http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/1998/essd21jul98_1/.

Nestler, Hartmut. 2012. Coberturas Vivas. *Workshop de Coberturas Ajardinadas em Clima Mediterrâneo*. Lisboa : Tektónica.

Niachou, A., et al. 2001. Analysis of the Green Roof Thermal Properties and Investigation of its Energy Performance. *Energy and Buildings*. 33.

NOAA. Mean Number of Days with Precipitation .01 inch or More. *NOAA Satellite and Information Service*. [Online] [Citação: 24 de Agosto de 2012.] <http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/online/ccd/prcpdays.html>.

Nowak, M. 2004. *Urban Agriculture on the Rooftop*. Ithaca, USA : Cornell University.

Oliveira, Fedra. 2008. *Aproveitamento de água Pluvial em Usos Urbanos em Portugal Continental - Simulador para a Avaliação da Viabilidade*. Lisboa : Instituto Superior Técnico - UTL.

OSHA. United States Department of Labor. *Occupational Noise Exposure*. [Online] Occupational Safety & Health Administration. [Citação: 2012 de Fevereiro de 22.] http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=standards&p_id=9735.

Palha, P. 2012. Jardins de Coberturas. *Curso de Jardins de Coberturas e Jardins Verticais - 3ª Edição*. Faro : Arquitecturas.

Palla, A., Gnecco, I. e Lanza, L. 2010. Hydrologic Restoration in the Urban Environment Using Green Roofs. *Water*. Vol. 2.

Peck, S., et al. 2003. *Design Guidelines for Green Roofs*. Canada : CMHC - SCHL.

Pereira, C. 1995. *Análise de Precipitações Intensas*. Lisboa : Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico.

Philadelphia Government. Business Services. *City of Philadelphia*. [Online] Philadelphia Government. [Citação: 23 de Abril de 2012.] <https://business.phila.gov/pages/taxcreditsotherincentives.aspx?stage=start&type=all%20business%20types§ion=financing%20%26%20incentives&bspcontentlistitem=tax%20credits,%20grants%20%26%20other%20incentives>.

Ramos, R. Informe Sul da Ilha. *Aproveite a Água das Chuvas - Conheça o Sistema de Captação e Aproveitamento que Gera Economia e um Uso Mais Responsável desse Recurso*. [Online] Casa & Construção. [Citação: 12 de Março de 2012.] <http://www.informesuldailha.com/2010/03/aproveite-agua-das-chuvas-conheca-o.html>.

Rodrigues, J. 2010. *Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais - Dimensionamento e Aspectos Construtivos*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Sacadura, F. 2011. *Análise de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial em Edifícios*. Lisboa : Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil.

Safeguard. Oldroyd 'Green' Range - Green Roof Drainage Membranes. *Safeguard - Making Buildings Dry*. [Online] [Citação: 18 de Janeiro de 2011.] <http://www.safeguardeurope.com/products/oldroyd-green-range.php>.

Sailor, D.J. 2008. A Green Roof Model for Building Energy Simulation Programs. *Energy and Buildings*. 40.

Scott, Thomas e Mercer, Eric Ian. 1997. *Concise Encyclopedia Biochemistry and Molecular Biology - Third Edition*. Berlin; New York : Walter de Gruyter. p. 143.

Shirley-Smith, C. 2005. *The Sustainability Value of the Green Roof Water Recycling System in Urban Communities or How Green doth your Garden GROW?* [Power Point] London, UK, London, UK : Water Works UK & Imperial College London. Watersave.

Sidwell, A., et al. 2008. Evaluation of the Thermal Benefits of Green Roof Systems. Sixth Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show. Baltimore : s.n..

Simões, Vítor. 2007. Aproveitar Águas Pluviais. *Arte & Construção*. Dezembro, Vol. 206, pp. 40 - 41.

Snodgrass, Edmund C. e McIntyre, Linda. 2010. *The Green Roof Manual - A Professional Guide to Design, Installation, and Maintenance*. London : Timber Press.

Snodgrass, Edmund e Snodgrass, Lucie. 2006. *Green Roof Plants: A Resource and Planting Guide*. Portland, USA : Timber Press. 978-0-88192-787-0.

Sousa, E. e Matos, J. 2005. *Projecto de Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais*. Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura - Secção de Hidráulica e dos Recursos Hídricos e Ambientais. Lisboa : Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico.

Suter, Cory. 2011a. *Green Roof 201: Necessary Components & Safety Review*. [PowerPoint] Philadelphia, USA : BioNeighbors.

Suter, Cory. 2011b. *Green Roofing 204: Growth Medium*. [PowerPoint] Philadelphia, USA : BioNeighbors.

Suter, Cory. 2011c. *Green Roofing 205: Insulation; Air Barriers and Vapor Barriers.* [PowerPoint] Philadelphia, USA : BioNeighbors.

Suter, Cory. 2011d. *Green Roofing 212: Best Practices, Building Codes, and Leak Detection.* [PowerPoint] Philadelphia, USA : BioNeighbors.

Suter, Cory. 2011e. *Green Roofing 302: The Green Roofing Industry.* [PowerPoint] Philadelphia, USA : BioNeighbors.

Suter, Cory. 2011f. *Roof Greening 311: Systems, Strategies & Review.* [PowerPoint] Philadelphia, USA : BioNeighbors.

Telles, Gonçalo Ribeiro. 1970. Sede e Museu da Fundação Gulbenkian: Jardins Sobre Coberturas. *Binário: Arquitectura, Construção, Equipamento.* 139, pp. 197-200.

Ulrich, R. S. e Simons, R. 1986. *Recovery from stress during exposure to everyday outdoor environments.* Washington D.C. : Environmental Research Association.

Ulrich, R. 1984. View Through a Window May Influence Recovery From Surgery. *Science.* Vol. 224.

UN. International Decade for Action - Water for Life, 2005 - 2015. *Water Scarcity.* [Online] United Nations. [Citação: 14 de Março de 2012.] <http://www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.shtml>.

UNEP. 2007. Environment for Development. *Global Water Resources.* [Citação: 09 de Março de 2012.] http://www.unep.org/training/programmes/Instructor%20Version/Part_2/Activities/Economics_of_Ecosystems/Water/Supplemental/Global_Water_Resources.pdf.

USEPA. 2003. *Cooling Summertime Temperatures: Strategies to Reduce Urban Heat Islands.* USA : United States Environmental Protection Agency, Climate Protection Partnerships Division.

USEPA. 2009. *Green Roofs for Stormwater Runoff Control.* Ohio, USA : United States Environmental Protection Agency.

USEPA. 2008. *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies - Urban Heat Island Basics.* USA : United States Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs.

Varela, Ana Filipa. 2011. *A Utilização de Revestimentos de Vegetação Intensivos e Extensivos em Projecto de Arquitectura Paisagista em Cobertura*. Lisboa : Instituto Superior de Agronomia - UTL.

Vaz, Jorge, et al. 2011. *Gestão de Águas Pluviais em Meio Urbano - Desafios e Soluções*. Lisboa; Maputo : DECivil, Instituto Superior Técnico; HIDRA, Hídrica e Ambiente; Consultec.

Voelz, J. 2006. *The Characteristics & Benefits of Green Roofs in Urban Environments*. California, USA : University Of California - Davis Extension.

Weiler, Susan K. e Scholz-Barth, Katrin. 2009. *Green Roof Systems - A Guide to th Planning, Design, and Construction of Landscapes over Structure*. New Jersey, USA : Wiley.

Whitford, Walter G. 2002. *Ecology of Desert Systems*. USA : Academic Press.

WHO. 2011. World Health Organization. *Media Center - Air Quality and Health, Fact sheet Nº 313*. [Online] Setembro. [Citação: 10 de Fevereiro de 2012.] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>.

Woods, Michael e Woods, Mary. 2009. *Seven Wonders of the Ancient World*. Minneapolis, USA : Twenty-First Century Books. p. 41. 978-0-8225-7568-9.

World Health Organization. 2002. *TheWorld Health Report 2002: Reducing Risks, Promoting Healthy Life*. Geneva : WHO.

Yang, J., Yu, Q. e Gong, P. 2008. Quantifying Air Pollution Removal by Green Roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*. Vol. 42, pp. 7266-7273.

Anexo

Na Figura 33 está indicado o local onde foi recolhida a água pluvial, em Caxias, Portugal ($38^{\circ}42'17.01''\text{N}$ e $9^{\circ}16'54.25''\text{O}$), caracterizado por apresentar um alto nível de vegetação e tráfego reduzido.



Figura 33 - Local onde foi recolhida a água pluvial utilizada no procedimento experimental.